

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA
HİBRİT ÇELİK LİF ETKİSİ**

**Hazırlayan
Samet ERCİNS**

**Danışman
Prof. Dr. Fatih ALTUN**

Yüksek Lisans Tezi

**Mart 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA
HİBRİT ÇELİK LİF ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Samet ERCİNS**

**Danışman
Prof. Dr. Fatih ALTUN**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FYL-2019-9784 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Mart 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Samet ERCİNS



“**Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışına Hibrit Çelik Lif Etkisi**” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Samet ERCİNS

Danışman

Prof. Dr. Fatih ALTUN

İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER

Prof. Dr. Fatih ALTUN danışmanlığında **Samet ERCİNS** tarafından hazırlanan “**Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışına Hibrit Çelik Lif Etkisi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

...../...../.....

JÜRİ:

Danışman :Prof. Dr. Fatih ALTUN

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Alperen TÜRKAY

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENÇİ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi değerli hocam Prof. Dr. Fatih ALTUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunmaktan büyük gurur ve mutluluk duyarım.

Çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Alperen TÜRKAY'a, Dr. Öğr. Üyesi Tamer DİRİKGİL'e ve Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ'ye teşekkür ederim. Çalışmalarımda daha ismini sayamadığım emeği geçen tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2019-9784) teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımda olduğu gibi hayatım boyunca beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve her türlü manevi desteği sağlayan çok değerli babam Vural ERCİNS'e, annem Aysel ERCİNS'e, abilerim Dr. Öğr. Üyesi Serdar ERCİNS'e ve Mehmet ERCİNS'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Samet ERCİNS

Kayseri, Mart 2021

BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA HİBRİT ÇELİK LİF ETKİSİ

Samet ERCİNS

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Mart 2021
Danışman: Prof. Dr. Fatih ALTUN

ÖZET

Tez çalışmasında, betonarme kirişlere çelik lifler eklenerek eğilme dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. Kiriş numuneleri hazırlanırken tek tip lifin yanı sıra hibrit lif de kullanılmıştır. C30 sınıfında hazırlanan betonarme kirişlere, 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında ve narinlikleri farklı KMX 80/60 BG ile KMX 65/60 BG tipi çelik lifler %100, %50 ve %0 karışım oranlarında katılmıştır. Betonarme kirişler 250×500×4200 mm olarak gerçek boyutlarında 2 adet referans ve çelik lif tipli her numunedan 2'şer adet olmak üzere toplam 14 adet üretilmiştir. Üretilen betonarme kirişlere, deney düzeneği basit mesnetli olacak şekilde 4 noktadan yükleme yapılmıştır. Genel olarak deney sonuçları değerlendirildiğinde, betonarme kirişlere çelik lifin tek tip veya hibrit olarak kullanımı kiriş taşıma gücünü deneysel ölçümlere göre çok artırmamıştır. Çelik lif kullanımı çatlak gelişimini engellediği için ilk rijitlik değerlerinde referans kirişe göre artış görülmüştür. Betonarme kirişlerde asıl taşıyıcı olan boyuna donatı kafesidir. Tek tip ve hibrit çelik lif kullanımının çatlak gelişimini engellediği için, boyuna donatı oranının minimumdan daha fazla tutulması taşıma gücünü de artıracığından dolayı pratik uygulamalar için uygun olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit çelik lif, betonarme kiriş, basit mesnet, eğilme dayanımı, süneklilik, rijitlik, enerji tüketimi.

HYBRID STEEL FIBER EFFECT ON BENDING BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS

Samet ERCİNS

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, March 2021
Supervisor: Prof. Dr. Fatih ALTUN

ABSTRACT

In the thesis study, by adding steel fibers to reinforced concrete beams, its effect on bending strength was investigated. Hybrid fiber was used as well as a single type of fiber while preparing beam samples. The reinforced concrete beams prepared in the C30 class were added at dosages of 0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³ and KMX 80/60 BG and KMX 65/60 BG type steel fibers with different delicates were added at %100, %50 and %0 mixing ratios. Reinforced concrete beams were produced in real dimensions of 250 × 500 × 4200 mm, 2 pieces of reference and 2 pieces of each steel fiber type sample, a total of 14 pieces were produced. The beams were loaded from 4 points, with the experimental setup as a simple support. When the test results were evaluated in general, the use of steel fiber as a single type or hybrid to reinforced concrete beams did not increase the beam bearing strength much compared to experimental measurements. Since the use of steel fiber prevents crack development, the initial stiffness values increased compared to the reference beam. The main carrier in reinforced concrete beams is the longitudinal reinforcement cage. Since the use of single type and hybrid steel fiber prevents crack development, keeping the longitudinal reinforcement ratio more than the minimum will increase the bearing power, so it will be suitable for practical applications.

Keywords: Hybrid steel fiber, reinforced concrete beam, simple support, bending strength, ductility, rigidity, energy consumption.

İÇİNDEKİLER

BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA HİBRİT ÇELİK LİF ETKİSİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgi.....	3
1.2. Literatür Araştırması.....	3

2.BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deney Numuneleri.....	10
2.2. Betonarme Kirişler.....	12
2.2.1.Boyut Özellikleri.....	12

2.2.2. Donatı Detayları.....	13
2.2.3.Malzeme Özellikleri.....	15
2.2.3.1.Beton Özellikleri.....	15
2.2.3.1.1. Beton Basınç Dayanımı Deneyleri.....	15
2.2.3.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyleri.....	16
2.2.3.1.3. Prizmatik Beton Kiriş Deneyleri.....	17
2.2.3.2. Donatı Özellikleri	21
2.2.4. Betonarme Kirişin Teorik Taşıma Gücü Hesabı	21
2.3. Deney Numunelerinin Üretilmesi.....	23
2.4.Betonarme Kiriş Deneyleri	26
2.4.1. Deney Düzeneği.....	26
2.4.2. Deney Ölçüm Düzeni ve Kullanılan Cihazlar	28
2.4.3. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	30
2.4.3.1. Yük-Deplasman Grafiklerinin Çizilmesi	31
2.4.3.2. Tüketilen Enerji Miktarının Hesaplanması	31
2.4.3.3. Rijitlik Grafiklerinin Çizilmesi.....	32
2.4.3.4.Süneklik Değerlerinin Elde Edilmesi	32
2.4.3.5. Moment-Eğrilik Grafiklerinin Çizilmesi	33

3.BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Betonarme Kiriş Deney Bulguları.....	35
3.1.1. No.1 Deney Bulguları.....	35
3.1.2. No.2 Deney Bulguları.....	39
3.1.3. No.3 Deney Bulguları.....	43
3.1.4. No.4 Deney Bulguları.....	46
3.1.5. No.5 Deney Bulguları.....	50

3.1.6. No.6 Deney Bulguları.....	54
3.1.7. No.7 Deney Bulguları.....	57
3.1.8. No.8 Deney Bulguları.....	61
3.1.9. No.9 Deney Bulguları.....	65
3.1.10. No.10 Deney Bulguları.....	69
3.1.11. No.11 Deney Bulguları.....	73
3.1.12. No.12 Deney Bulguları.....	76
3.1.13. No.13 Deney Bulguları.....	80
3.1.14. No.14 Deney Bulguları.....	84

4.BÖLÜM

BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Deney Bulgularının Karşılaştırılması.....	89
4.1.1. Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması	89
4.1.2. Toplam Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması.....	93
4.1.3. Moment-Eğrilik Grafiklerinin Karşılaştırılması	94
4.1.4. Rijitlik-Orta Nokta Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	96

5.BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar.....	100
5.2. Öneriler	101
KAYNAKÇA	102
ÖZGEÇMİŞ.....	106

KISALTMALAR

a	: Kesme açıklığı
A_s	: Kiriş çekme donatısı alanı
A'_s	: Kiriş basınç donatısı alanı
A_{sw}	: Kesme donatısı toplam kesme alanı
b_w	: Kiriş genişliği
c	: Tarafsız eksen derinliği
C30	: 28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 30 MPa olan beton
CMOD	: Çatlak Ağız Açılma Deplasmanı
d	: Kiriş faydalı yüksekliği
d'	: Pas payı
E	: Elastisite Modülü
f_{cd}	: Betonun tasarım silindir basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{cd}	: Donatının tasarım akma dayanımı
$f_{ct,L}^f$: Orantısal sınıır (MPa)
f_{net}	: Net eğilme dayanımı
f_{yk}	: Donatının karakteristik akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
h	: Kiriş yüksekliği
h_{sp}	: Çentikli kirişlerde çentik ucu ile numunenin üst kısmı arasındaki mesafe
K	: Eğrilik
k_1	: Beton sınıfına bağlı olan katsayı
K_{ilk}	: Deney numunesindeki ilk yüklemde ölçülen rijitlik değeri
K_j	: Deney numunesindeki j' inci yüklemde ölçülen rijitlik değeri
kN	: Kilo Newton
L	: Kiriş boyu
LOP	: Orantısal sınıır (MPa)
M	: Eğilme momenti
m	: Metre

mm	: Milimetre
Mpa	: Mega Pascal
M_r	: Taşıma gücü momenti
P	: Kirişe uygulanan yük
rad	: Radyan
s	: Enine donatı (etriye) aralığı
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
V	: Kesme kuvveti
V_c	: Kesme dayanımına beton katkısı
V_{cr}	: Kesitin kesmede çatlama dayanımı
V_r	: Kesme dayanımı
V_w	: Kesme dayanımına enine donatı (etriye) katkısı
%	: Yüzde
Δ	: Deney elemanında meydana gelen deplasman
δ_i	: i' inci yüklemde deney elemanında meydana gelen deplasman
δ_{max}	: Deney elemanında elde edilen maksimum deplasman
δ_u	: Göçme anında ölçülen deplasman
δ_y	: Akma anında ölçülen deplasman
ε	: Şekil değiştirme
\emptyset	: Donatı çapı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ_{max}	: Maksimum donatı oranı
ρ_{min}	: Minimum donatı oranı
σ	: Gerilme

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Deney numunelerinin adlandırılması ve içerikleri.....	11
Tablo 2.2. Çelik liflerin özellikleri.....	12
Tablo 2.3. Beton Basınç Dayanımı Değerleri	16
Tablo 2.4. Yarmada Çekme Dayanım Değerleri.....	17
Tablo 2.5. Numunelerin Eğilmede Çekme dayanım değerleri.....	20
Tablo 2.6. Donatıların Mekanik Özellikleri	21
Tablo 4.1. Numunelerin ortalama yük, deplasman ve süneklik değerleri.....	91
Tablo 4.2. Deney numunelerinin moment-eğrilik değerlerinin karşılaştırılması.....	96
Tablo 4.3. Deney numunelerinin ortalama rijitlik değerleri	98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sonu Kancalı Çelik Teller.....	11
Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan çelik lifler.....	12
Şekil 2.3. Deneş numunelerinin boyutları (Ölçüler cm cinsindedir.).....	13
Şekil 2.4. Betonarme kirişlerin donatı detayları.....	15
Şekil 2.5. Prizmatik Beton Kiriş Deneş Şeması	18
Şekil 2.6. Yük-CMOD diyagramı	19
Şekil 2.7. Basit kiriş kesme ve moment diyagramı	22
Şekil 2.8. Kalıpların hazırlanması.....	24
Şekil 2.9. Donatıların hazırlanması	24
Şekil 2.10. Donatıların kalıp içeresine yerleştirilmesi.....	25
Şekil 2.11. Beton dökümü ve vibratör uygulaması	25
Şekil 2.12. Kirişlerin laboratuvara alınması ve boyanması.....	26
Şekil 2.13. Basit Kiriş Deneş Düzenegi Çalışmaları	26
Şekil 2.14. Tasarlanan Deneş Düzenegi	27
Şekil 2.15. Deneş Düzenegi Çalışmaları	27
Şekil 2.16. Tamamlanan Deneş Düzenegi	28
Şekil 2.17. Veri Toplama Cihazı.....	28
Şekil 2.18. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar.....	29
Şekil 2.19. Ölçüm Cihazlarının Konumu (Ölçüler cm cinsindedir.).....	29
Şekil 2.20. İlk deneşdeki kirişin kırılma anı ve zarar gören deplasman ölçüm cihazları.....	30
Şekil 2.21. Tüketilen Enerji Miktarının Hesabı	31
Şekil 2.22. Rijitlik Değerlerinin Hesabı	32
Şekil 2.23. Süneklik Değerlerinin Hesabı	33
Şekil 2.24. Numunelerde eğriliğın belirlenmesi (Ölçüler mm cinsindedir.).....	34
Şekil 3.1. No.1 kiriş numunesinin deneş öncesi görünümü.....	36
Şekil 3.2. No.1 kirişi kırılma anı	37
Şekil 3.3. No.1 kirişi hasar oluşumu	37
Şekil 3.4. No.1 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiğı	38
Şekil 3.5. No.1 kirişi rijitlik grafiğı.....	38
Şekil 3.6. No.1 kirişi K_j/K_{ilk} grafiğı	39
Şekil 3.7. No.1 kirişi moment-eğrilik grafiğı	39

Şekil 3.8. No.2 kiriş numunesinin deney öncesi görünümü.....	39
Şekil 3.9. No.2 kirişi kırılma anı	40
Şekil 3.10. No.2 kirişi hasar oluşumu	41
Şekil 3.11. No.2 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	41
Şekil 3.12. No.2 kirişi rijitlik grafiği.....	42
Şekil 3.13. No.2 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	42
Şekil 3.14. No.2 kirişi moment-eğrilik grafiği	42
Şekil 3.15. No.3 kiriş numunesinin deney öncesi görünümü.....	43
Şekil 3.16. No.3 kiriş numunesinin kırılma anı	44
Şekil 3.17. No.3 kirişi hasar oluşumu	44
Şekil 3.18. No.3 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	45
Şekil 3.19. No.3 kirişi rijitlik grafiği.....	45
Şekil 3.20. No.3 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	46
Şekil 3.21. No.3 kirişi moment-eğrilik grafiği	46
Şekil 3.22. No.4 kirişinin deney öncesi görünümü	47
Şekil 3.23. No.4 kirişinin kırılma anı	48
Şekil 3.24. No.4 kirişi hasar oluşumu	48
Şekil 3.25. No.4 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	49
Şekil 3.26. No.4 kirişi rijitlik grafiği.....	49
Şekil 3.27. No.4 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	50
Şekil 3.28. No.4 kirişi moment-eğrilik grafiği	50
Şekil 3.29. No.5 kirişinin görünümü.....	51
Şekil 3.30. No.5 kirişinin kırılma anı	51
Şekil 3.31. No.5 kirişi hasar oluşumu	52
Şekil 3.32. No.5 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	52
Şekil 3.33. No.5 kirişi rijitlik grafiği.....	53
Şekil 3.34. No.5 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	53
Şekil 3.35. No.5 kirişi moment-eğrilik grafiği	54
Şekil 3.36. No.6 kirişin görünümü.....	54
Şekil 3.37. No.6 kirişinin kırılma anı	55
Şekil 3.38. No.6 kirişi hasar oluşumu	55
Şekil 3.39. No.6 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	56
Şekil 3.40. No.6 kirişi rijitlik grafiği.....	56

Şekil 3.41. No.6 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	57
Şekil 3.42. No.6 kirişi moment-eğrilik grafiği	57
Şekil 3.43. No.7 kirişinin deney öncesi görünümü	58
Şekil 3.44. No.7 kirişinin kırılma anı	59
Şekil 3.45. No.7 kirişi hasar oluşumu	59
Şekil 3.46. No.7 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	60
Şekil 3.47. No.7 kirişi rijitlik grafiği.....	60
Şekil 3.48. No.7 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	61
Şekil 3.49. No.7 kirişi moment-eğrilik grafiği	61
Şekil 3.50. No.8 kirişinin deney öncesi görünümü	62
Şekil 3.51. No.8 kirişinin kırılma anı	63
Şekil 3.52. No.8 kirişi hasar oluşumu	63
Şekil 3.53. No.8 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	64
Şekil 3.54. No.8 kirişi rijitlik grafiği.....	64
Şekil 3.55. No.8 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	65
Şekil 3.56. No.8 kirişi moment-eğrilik grafiği	65
Şekil 3.57. No.9 kirişinin deney öncesi görünümü	66
Şekil 3.58. No.9 kirişinin kırılma anı	67
Şekil 3.59. No.9 kirişi hasar oluşumu	67
Şekil 3.60. No.9 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	68
Şekil 3.61. No.9 kirişi rijitlik grafiği.....	68
Şekil 3.62. No.9 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	69
Şekil 3.63. No.9 kirişi moment-eğrilik grafiği	69
Şekil 3.64. No.10 kirişinin deney öncesi görünümü	70
Şekil 3.65. No.10 kirişinin kırılma anı	70
Şekil 3.66. No.10 kirişi hasar oluşumu	71
Şekil 3.67. No.10 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	71
Şekil 3.68. No.10 kirişi rijitlik grafiği.....	72
Şekil 3.69. No.10 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	72
Şekil 3.70. No.10 kirişi moment-eğrilik grafiği	72
Şekil 3.71. No.11 kirişin görünümü	73
Şekil 3.72. No.11 kirişinin kırılma anı	74
Şekil 3.73. No.11 kirişi hasar oluşumu	74

Şekil 3.74. No.11 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	75
Şekil 3.75. No.11 kirişi rijitlik grafiği.....	75
Şekil 3.76. No.11 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	76
Şekil 3.77. No.11 kirişi moment-eğrilik grafiği.....	76
Şekil 3.78. No.12 kirişin görünümü	77
Şekil 3.79. No.12 kirişinin kırılma anı	78
Şekil 3.80. No.12 kirişi hasar oluşumu	78
Şekil 3.81. No.12 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	79
Şekil 3.82. No.12 kirişi rijitlik grafiği.....	79
Şekil 3.83. No.12 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	80
Şekil 3.84. No.12 kirişi moment-eğrilik grafiği	80
Şekil 3.85. No.13 kirişinin deney öncesi görünümü	81
Şekil 3.86. No.13 kirişinin kırılma anı	82
Şekil 3.87. No.13 kirişinin hasar oluşumu	82
Şekil 3.88. No.13 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	83
Şekil 3.89. No.13 kirişi rijitlik grafiği.....	83
Şekil 3.90. No.13 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	84
Şekil 3.91. No.13 kirişi moment-eğrilik grafiği	84
Şekil 3.92. No.14 kirişinin deney öncesi görünümü	85
Şekil 3.93. No.14 kirişinin kırılma anı	85
Şekil 3.94. No.14 kirişinin hasar oluşumu	86
Şekil 3.95. No.14 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği	86
Şekil 3.96. No.14 kirişi rijitlik grafiği.....	87
Şekil 3.97. No.14 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği	87
Şekil 3.98. No.14 kirişi moment-eğrilik grafiği	88
Şekil 4.1. Aynı tip numunelerin yük-orta nokta deplasman grafiklerinin karşılaştırılması	90
Şekil 4.2. Tüm numunelerin yük-orta nokta deplasman grafiklerinin karşılaştırılması..	91
Şekil 4.3. Tüm numunelerin enerji tüketim kapasiteleri	93
Şekil 4.4. Deney numunelerinin ortalama enerji tüketim kapasiteleri	93
Şekil 4.5. Aynı tip numunelerin moment-eğrilik grafiklerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.6. Tüm numunelerin moment-eğrilik grafiklerinin karşılaştırılması	95

Şekil 4.7. Aynı tip kirişlerin rijitlik-orta nokta deplasman grafiklerinin karşılaştırılması	97
Şekil 4.8. Tüm numunelerin rijitlik-orta nokta deplasman grafiklerinin karşılaştırılması	98



GİRİŞ

Günümüzde insanların ihtiyaçlarına uygun ve estetiğe önem veren yapılar yapma isteği, inşaat sektöründeki araştırmaları önemli ve zorunlu kılmaktadır. Bu anlamda ülkemizde hayata geçirilen veya geçirilmek istenen büyük ölçekli projelerde, deprem kuşağında olmamız nedeniyle, betonarme elemanların mekanik özelliklerini geliştirerek yapıları yapmak hasarların azaltılması açısından önem kazanmıştır.

Betonarme yapıların davranışında en önemli bileşen olan beton malzemesinin, düşük olan süneklilik ve çekme dayanımı özelliklerini iyileştirebilmek için, beton içerisine çeşitli lif malzemeleri katılarak, teknik özelliklerini geliştirmek mümkün gözükmektedir. Özellikle lif malzemelerinde en çok tercih edilen ise çekme dayanımı yüksek olan çelik liflerdir.

Betonun mekanik özelliklerinin çelik liflerle geliştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle çelik lifli betonun enerji yutma kapasitesinin ve kırılma anında sünekliliğinin arttığı gelişmeler gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar çelik liflerin betonarme taşıyıcı sistemlerde kullanımını önemli kılmıştır. Betonarme kirişlerde çelik lif kullanımıyla ilgili çalışmalar yapılmış olup, bu çalışmalarda genellikle küçük ölçekli ve tek tip çelik lif türü kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında betonarme kirişler 1/1 ölçekte gerçek boyutlarda üretilmiş ve narinlikleri farklı çelik lifler kullanılarak, hibrit çelik lifli betonarme kirişlerin davranışları incelenmiştir. Betonarme kirişler 250×500 mm en kesit ve 4200 mm uzunluğunda boyutlandırılmış, 2 adet referans (lifsiz) kiriş olmak üzere, 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ çelik lif dozajlarında, betona %0, %50 ve %100 katılarak toplamda 14 adet üretilmiştir. Bu kirişlerin mesnet koşulları basit mesnetli seçilerek deney düzeneği hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı ve farklı tarafı, gerçek kiriş davranışını görmek adına 1/1 ölçekle ve hibrit lifli betonarme kirişler üretilerek, çekme kırılması etkisinde minimum boyuna donatı durumunda basit mesnet düzeneğinde kiriş davranışını incelemektir.



1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgi

Malzeme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, betonun zayıf olan mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda betona çeşitli katkı maddeleri katılarak belirli özellikleri geliştirilmiştir. Betonun çekme dayanımının düşük olması ve tek başına gevrek bir davranış göstermesi sebebiyle, içerisine çekme dayanımı yüksek olan çelik liflerin eklenmesi malzeme davranışını geliştirmektedir. Betonun içerisine eklenen çelik liflerin, çekme dayanımlarının yüksek olması, ısıya karşı dayanıklı olması, sünekliliğe katkı sağlaması ve beton ile iyi bir aderans sağlayarak, betonarme elemanlarda oluşacak çatlak genişliğini kısıtlaması gibi özellikleri, betonarme elemanlarda kullanımını önemli kılmaktadır.

Bu araştırmada, betonarme kirişler üretilirken narinlik değerleri farklı iki çelik lif türü kullanılmıştır. Çelik lifler farklı dozajlarda betonarme kirişlere ilave edilmiş ve kirişlerin eğilme davranışına hibrit çelik lif etkisi incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının önemi, gerçek kiriş davranışını görmek adına 1/1 ölçekle ve hibrit lifli betonarme kirişler üretilerek, çekme kırılması etkisinde minimum boyuna donatı durumunda, basit mesnet düzeneğinde kiriş davranışını incelemektir. Literatürde genellikle küçük boyutlarda ve tek bir çelik lif türü kullanılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Çelik liflerle ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle çelik lif beton malzemesine ilave edilerek mekanik özelliklerindeki etkisi araştırılmıştır. Çelik lifin betonarme kirişler üzerindeki etkisiyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle tek tip çelik lif kullanıldığı, kiriş boyuna donatısının minimumun çok üzerinde olduğu ve

Ölçeklendirilmiş boyutlarda üretim yapıldığı görülmüştür. Yapılan çalışma kapsamında kirişin gerçek davranışını görmek adına 1/1 ölçekle ve narinlikleri farklı iki çelik lif türü kullanılarak üretim yapılmıştır. Kirişlerin deney düzeneğinin basit mesnet olmasına dikkat edilmiştir. Tez konusu dikkate alınarak literatürde incelenen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Altun vd. (2002), yaptıkları çalışmada çelik lifli betonarme kirişlerin taşıma gücünü incelemişlerdir. Bunun için 3 adet çelik lif katkısız ve 3 adet çelik lif katkılı betonarme kiriş üretilmiş sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tek tip çelik lif katkısı ile üretilen betonarme kirişin sünekliliğinde ve taşıma gücünde artış görülmüştür [3].

Özcan (2003) yaptığı çalışmada, çelik lifli betonarme kirişlere iki noktadan statik yükleme yapılarak çelik lif katkısının taşıma gücüne olan etkisi incelenmiştir. Deney için 250x350x2000 mm boyutlarında 3 adet çelik lif katkılı, 3 adet çelik lif katkısız betonarme kiriş üretilmiştir. Çelik lifler 0 kg/m³ ve 30 kg/m³ dozajlarında kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 30 kg/m³ çelik lif katkısının kirişin taşıma gücüne önemli katkı sağladığı ve sünekliliği artırdığı gözlenmiştir [14].

Güler ve Yavuz (2017), yaptıkları çalışmada betonun içerisine çelik ve sentetik lifler farklı kombinasyonlarda katılarak liflerin betondaki basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarındaki değişimlerini incelemişlerdir. Beton numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımlarını belirlemek için bir kenarı 150 mm olan küp numuneler, kirişlerin dört noktalı eğilme dayanımlarını belirlemek için 100 mm × 100 mm × 400 mm prizmatik kiriş numuneler üretilmiştir. Çelik ve sentetik lifler beton içerisinde %0.25, %0.50 ve %0.75 hacimsel oranlarında katılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çelik, sentetik ve karma lif katkılı karışımlarda yarmada çekme ve eğilme dayanımlarında kayda değer bir artış olmasına karşılık basınç dayanımında önemli bir artış meydana gelmemiştir. Lif hacim oranı ve narinlik oranı arttıkça yarmada çekme ve eğilme dayanımları da artmıştır. Buna ilave olarak, basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımında, çelik ve sentetik lif katkılı betonlara kıyasla, karma lif katkılı betonlar için daha büyük artışlar elde edilmiştir [7].

Altun vd. (2006), yapmış oldukları çalışmada 9 adet 300 × 300 × 2000 mm boyutlarındaki betonarme kirişe 0, 30 ve 60 kg/m³ miktarlarında çelik lif ilave etmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde basit eğilme olacak şekilde deney yapılmış ve tek türde çelik lif

ilavesinin basit mesnetli betonarme kirişin mekanik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca her bir çelik lif miktarı için ikişer adet olmak üzere, toplamda altı adet betonarme kiriş daha üretilmiştir. Betonarme kirişlerde ise patlama yüklemesi ile deneyler yapılmıştır. Çalışmada katkısız ve değişik miktarlarda çelik lif ilaveli betonarme kirişlere ait genel mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca bu kirişlerin enerji yutma kapasiteleri, katkısız kirişlerin enerji yutma kapasitelerine oranlandığında sünekliliği 30 kg/m^3 dozajda 2.66 kat ve 60 kg/m^3 dozajda 2.83 kat artırdığı görülmüştür. Bunun yanı sıra 30 kg/m^3 çelik lif dozajlı betonarme kirişin taşıma gücünde %30, 60 kg/m^3 çelik lif dozajlı betonarme kirişin taşıma gücünde %41 artış olduğu sonucuna varılmıştır. Patlatma yüklemesi sonrasındaki çatlak gelişimi 30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 çelik lif miktarlarında daha da azaldığı görülmüş, bu nedenle patlama yüklemesi deneylerinde çelik lif miktarının daha yüksek seçilmesi araştırma sonucunda önerilmiştir [1].

Chunxiang ve Patnaikuni (1999), yaptıkları çalışmada hacimce %1 çelik lifli ve çelik lifsiz yüksek dayanımlı betonarme kirişler üreterek teste tabi tutmuşlardır. Çelik lifler üç farklı boyutta ucu kancalı olmak üzere hafif karbonlu kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, çelik lifli elemanların eğilme rijitliğinde artışlar görülmüş, bu elemanlarda oluşan çatlak sayısı ve çatlak boyunda azalmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, çelik lif takviyeli yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin çelik lifsiz kirişlere göre daha sünek bir davranış sergiledikleri sonucuna ulaşmışlardır [12].

Aktaş (2007) yaptığı çalışmada 350, 400 ve 450 çimento dozajındaki hafif betona 0, 30 ve 60 kg/m^3 dozajlarında çelik lif ekleyerek beton ve betonarme elemanlarda davranışa sağlayacağı katkılar araştırılmıştır. Silindir numunelerdeki mukavemet değerlerinden uygun çelik lif dozajı 30 ve 60 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. 350, 400 ve 450 çimento dozajlarındaki hafif betona 30 ve 60 kg/m^3 oranında çelik lif katılarak betonarme kirişler üretilmiş ve eğilme çekme deneyi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; hafif betonlara çelik lif ilavesinin elastisite modülünde değişikliğe sebep olmadığı, basınç dayanımı ve tokluk değerlerini artırdığı, hafif betonarme kirişlerde aderans kaybı gibi problemler ile karşılaştığı görülmüştür. Ayrıca 30 kg/m^3 çelik lif katkısının 350, 400 ve 450 çimento dozajına sahip hafif betonarme kirişler için uygun olacağı belirtilmiştir [5].

Mayar (2020), yapmış olduğu çalışmada çelik lifli kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen betonarme kirişlerin kesme ve eğilme davranışlarını araştırmıştır. Bu sebeple hem çelik lifsiz hem de çelik lifli, farklı a/d oranlarına sahip betonarme kirişler

üretimiştir. Çelik lifli karışımlarda beton hacminin %0.6'sı kadar ve 40 narinlik oranına sahip iki ucu kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Farklı a/d oranlarına sahip 8 lifsiz ve 8 lifli olmak üzere toplam 16 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Üretilen kirişler dört noktalı eğilme düzeneğinde teste tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda kirişlerin kesme ve eğilme davranışlarında çelik lifin büyük etkisi olduğu görülmüş, gevrek bir şekilde kırılan lifsiz kirişler çelik lif ilavesi ile sünek davranış göstermiştir [15].

Alparslan (2015) yapmış olduğu çalışmada, 2 farklı geometrik şekle sahip çelik lifleri 4 grupta incelemiş, çelik lifler 20 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³ dozajlarında ve su/çimento oranı 0.37 ve 0.50 olduğu numunelerdir. Her grupta referans numune dahil 4 adet deney numunesi üretilmiştir. Sonuç olarak çelik liflerin betonu daha sünek bir yapıya kavuşturduğu gözlemlenmiştir. Çelik lif miktarı hacimce 60 kg/m³ olan numunelerde referans betona göre, eğilme etkisi altında enerji yutma miktarı 30 kata kadar artış gösterirken, 40 kg/m³ ve 20 kg/m³ çelik lif içeren numunelerde sırasıyla 22 kat ve 9 kat artış gözlenmiştir. Hacimce aynı değerlerde çelik lifin bulunduğu ve aynı matris dayanımındaki betonların, kullanılan çelik lif türünü değiştirerek yapılan tokluk ölçümlerinde birbirine yakın değerler olduğu ve miktarlar arasındaki farkın %3'e kadar çıktığı gözlenmiştir [16].

Ulu (2011) yaptığı çalışmada, 10 adet hibrit lifli betonarme kiriş üreterek kirişlerin kesme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Deneylerinde %0 ve %1.5 arasında değişen oranlarda iki farklı çelik lif tipi seçmiş ve iki a/d oranı için 2 ve 3.75 değerlerini kullanmıştır. Numunelerin kesme davranışının incelenmesinde, dört noktadan eğilme deneyi uygulanmıştır. Deney düzeneği için basit mesnet seçilmiştir. Çalışmalarda lif miktarı a/d oranı ve hibrit karışımın mekanik performansa olan etkisi incelenmiştir. Deney sonucunda kırılma türlerinin lif oranına göre değişmediği, ilk çatlak oluştuğunda ise kesme dayanımının ve ortalama kesme gerilmesinin a/d oranı arttıkça azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca kirişlerdeki kesme dayanımlarının lif oranının artması ile arttığı görülmüştür. En fazla artış lif oranının %0.5'den %0.75'e çıkartılması ve a/d oranının 2 olduğu zaman görülmüş ve kesme kapasitesinin %45 arttığı gözlenmiştir. Çatlak gelişiminin önlenmesinde hibrit lif katkısının oldukça etkili olduğunu belirtilmiştir [9].

Berbergil (2006) yapmış olduğu çalışmada eğilme deneyi için 10×10×50 cm prizmatik kiriş numunesi, basınç deneyi için 15×15×15 cm küp numuneleri üretmiştir. Deneysel çalışmaları sonucunda kendiliğinden yerleşen betonlarda artan çelik lif oranının

betonların elastisite modülünü ve basınç dayanımını önemli derecede etkilemediği görülmüş, eğilme dayanımını artırdığı gözlenmiştir. Hacimce 60 kg/m³ çelik lifli betonun lifsiz betona göre eğilme dayanımında %130'lara varan artışlar görülmüştür [18].

Faeq (2015) yapmış olduğu çalışmada, çelik lifli beton ve farklı katmanlarda normal beton kullanılarak üretilen betonarme kirişlerin eğilme davranışını incelemiştir. Bu amaçla, 180×250×3500 mm ebatlarında 2 grup halinde toplam 10 adet kiriş üreterek 4 noktadan eğilme deneyi yapmıştır. Bu çalışmadaki değişkenler, betonarme kiriş elemanlarının yüksekliği boyunca bulunan katmanlardaki farklı beton tipleridir. Betonarme kirişlerin kesiti 50 mm kalınlığında 5 katman olarak ayrılmıştır. "F" grubu kirişlerde normal beton katmanlarından oluşan numunelere, aşağıdan başlayarak, "P" grubu kirişlerde ise kesitin üst seviyesinden başlanarak çelik lifli beton katmanlar eklenmiştir. Deneyler sonucunda kiriş elemanlarının yük-deformasyon davranışları gözlemlenmiş ve bu davranışlar servis rijitliği, yük taşıma kapasitesi, tokluk parametreleri ile kapasite sonrası eğim göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, çelik lif katkılı F tipi numunelerde servis rijitliğinin azaldığı, P tipi numunelerde ise net bir etki oluşturmadığı, her iki çelik lif katkılı numunelerin nihai yük taşıma kapasitelerinin biraz arttığı, çelik lif katkısının F tipi numunelerde tokluk parametrelerini artırdığı, P tipi numunelerde ise azalttığı sonucuna ulaşılmıştır [19].

Türker vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada, ultra yüksek performanslı çelik lifli beton içeren betonarme kirişlerde, eğilme davranışı bakımından en etkin çelik lif tipi araştırılmıştır. Bunun için bir adet lifsiz (referans), dört adet farklı çelik lif tipi içeren toplam beş adet 100×150×1500 mm boyutlarında prizmatik kiriş numuneleri üzerinde eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinde hacimce %1.5 oranında çelik lif içeren ve 120 MPa üzeri basınç dayanımına sahip beton kullanılmıştır. Çelik lif olarak düz mikro lif tipi (F6), iki adet tek kancalı makro lif tipi (F30 ve F60_1) ve bir adet çift kancalı lif tipi (F60_2) incelenmiştir. Deney numunelerinde eğilmede etkin çelik lif tipi değerlendirmesi yük taşıma kapasiteleri, yer değiştirme süneklilikleri ve çatlak özelliklerine göre yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlardan çatlakları sınırlandırma ve yük taşıma kapasitesi bakımından çift kancalı makro lifin (F60_2) en etkili olduğu, yer değiştirme sünekliliği bakımından ise düz mikro lifin (F6) en etkin lif olduğu gözlemlenmiştir [8].

Çotur (2019) yapmış olduğu çalışmada aynı özellikte 2 farklı çekme donatı oranına ($\rho=0.005$ ve $\rho=0.012$) sahip ve dayanımları farklı olan iki lif ile birlikte 6 tane betonarme kiriş numunesi üretmiştir. Çalışmada kullanılan referans kirişler C30 betonu ile diğer kirişlerde aynı matristen fakat farklı çelik lif içeren ultra yüksek dayanıma sahip beton kullanılarak $200 \times 300 \times 3800$ mm boyutlarında üretilmiştir. Deney numuneleri basit mesnetli, 4 noktadan eğilme yükleri altında test edilmiştir. Çalışmalar sonucunda yüksek dayanımlı lif katkılı numunelerde deplasman sünekliliğinde artış görülürken, düşük dayanıma sahip lif kullanılan numunelerde deplasman sünekliliği, yüksek olan dayanıma göre az miktarda düşmüştür. $\rho=0.005$ donatı oranına sahip olan ve yüksek dayanımlı lifin kullanıldığı kirişin başlangıçtaki rijitliği referans alınan numuneye göre %89 artarken, düşük dayanımlı lifin kullanıldığı kirişin başlangıçtaki rijitliği %42 artmıştır. Donatı oranının $\rho=0.012$ olduğu deneyde kullanılan lif türü dayanımda herhangi bir farklılığa sebep olmamış ve deneydeki her iki numunede referansa kıyasla %32 ve %33 artış göstermiştir. $\rho=0.0012$ donatı oranına sahip numunelerde başlangıç rijitliği ortalama olarak % 22 seviyesinde düşmüştür [17].

Yavuz vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada, çeşitli narinlik ve hacimsel oranlarına bağlı olarak düz ve iki ucu kancalı çelik lifli betonların basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Beton içeriğindeki lif oranı arttıkça referans numuneye göre daha yüksek basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımları görülmüştür. İki ucu kancalı çelik lif katkılı betonların basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımı değerleri düz çelik lif katkılı betonlara göre daha yüksek görülmüştür. Düz çelik lifler yarmada çekme ve eğilme dayanımında lifsiz betona göre önemli bir artışa neden olmasına rağmen, basınç dayanımı artırmadaki etkisi sınırlı kalmıştır [13].

Şen (2009) yaptığı çalışmada farklı boy/çap oranına sahip çelik lifli gövde donatısız betonarme kirişlerin kesme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde iki a/d oranı (2 ve 3.75), iki çelik lif tipi (RC-65/35-BN ve RC-80/60-BN), üç çelik lif oranı (%0, %0.5 ve %0.75) ve iki beton basınç dayanımı seviyesi (NDB ve YDB) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, çatlama gerilmesi ve kesme dayanımının, çelik lif oranının artması, beton basınç dayanımının artması ve a/d oranının düşmesiyle arttığı görülmüştür. Uzun çelik lifli kirişlerde kesme dayanımının kısa olanlara göre daha fazla artış göstermiştir. Lif oranı arttıkça davranış kesmeden eğilmeye kaymıştır. %0.75'lik lif

içeriği kirişlerde minimum kesme donatısı olarak önerilmektedir. %0.75 lif oranına sahip kirişler çok yüksek deplasman değerlerinde eğilme kırılması ile kırılmışlardır [20].

Birincioğlu (2016) yaptığı çalışmada a/d oranı 2.5 olan çelik lifli ve çelik lifsiz betonarme kirişlerin kesme mukavemetleri deneysel olarak incelenmiştir. Deney değişkenleri etriye aralığı ve hacimsel lif oranıdır. Kesme mukavemetleri karşılaştırıldığında enine donatı aralığı arttıkça, çelik lif oranı artışının kesme dayanımına katkısında daha fazla artış görülmüştür. Çalışma sonucunda betonarme kirişlerde sünekliliğin ve kesme mukavemetinin artırılması için etriye aralığının azaltılması ve betona çelik lif eklenmesi önerilmektedir [21].

Al-ameri (2017) yaptığı çalışmada, iki noktalı yük altında çelik telle güçlendirilmiş delik kesitli beton kirişlerin eğilme davranışı incelenmiştir. Kiriş boyutları 150×150×850 mm olarak seçilmiş olup dördü normal kesitli, sekizi delik kesitli olmak üzere toplam 12 adet kiriş üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda kesit delik boyutu, çelik lif içeriği ve uzunlamasına çelik donatı etkisinin yük taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, çelik lif kullanımının basınç dayanımını çok fazla etkilemediği, çekme gerilmesi mukavemetinde önemli bir artış sağladığı, daha iyi eğilme davranışına yol açtığını ve nihai yük kapasitesini arttırdığı görülmürken, delik kesitli kirişlerde ise delik boyutu arttıkça nihai yükün azaldığı görülmüştür [22].

Amin vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada 5 m uzunluğunda, 0.3 m genişliğinde ve 0.7 m yüksekliğinde betonarme kirişlere çelik lifler ilave edilerek kesme mukavemeti araştırılmıştır. Betonarme kirişlere belirli oranlarda çelik lif ilave edildiğinde, çelik lifin kesme donatısı olarak kullanılması gereken donatının bir miktarı yerine kullanılabileceği ifade edilmiştir. Yüksek dozda lif içeren kirişlerde ise çatlakların daha dağınık ve gözle görülür incelikte oluştuğu gözlenmiştir. [23].

2.BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalar kapsamında 14 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Ayrıca aynı standartlarda farklı bir çalışma [10] için üretilen 28 adet silindir ve 14 adet prizmatik beton kiriş numunesi de bu tez çalışması kapsamında değerlendirilmiştir. Deney numuneleri Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında TBDY2018 ve TS500-2000 şartları dikkate alınarak üretilmiştir. Betonarme kirişler 1/1 ölçekle üretilmiş ve beton sınıfı C30, donatı sınıfı ise B420C olarak seçilmiştir. Kirişler için deney düzeneği basit kiriş koşullarını sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Bu bölümde deney numunelerine ait hesaplamalar, kullanılan malzemeler ve deney düzeneği için yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

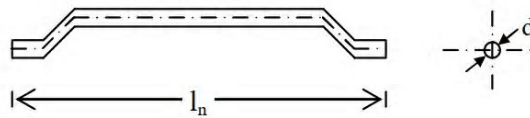
2.1. Deney Numuneleri

Tez çalışması kapsamında üretilen betonarme kiriş numunelerinin lif dozajları 0 kg/m^3 , 30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 olup, çelik lif tipleri KMX 80/60 BG ve KMX 65/60 BG'dir. Deney numunelerinin adlandırılması ve içerikleri Tablo 2.1 de verilmiştir. Deney numunelerinin adlandırılmasında numune kodları dikkate alınmıştır.

Tablo 2.1. Deney numunelerinin adlandırılması ve içerikleri

Deney Numune Adı	Numune Kodu	İçerikleri
KR-1(2)	No.1, No.2	Çelik lif katkısı olmayan numuneler
30 kg/m ³ %100 KMX 80/60 BG-1(2)	No.3, No.4	Çelik lif dozajı 30 kg/m ³ ve lifin %100'ü KMX 80/60 BG tipi olan numuneler
30 kg/m ³ %50 KMX 80/60 BG %50 KMX 65/60 BG-1(2)	No.5, No.6	Çelik lif dozajı 30 kg/m ³ ve lifin %50'si KMX 80/60 BG, %50'si KMX 65/60 BG tipi olan numuneler
30 kg/m ³ %100 KMX 65/60 BG-1(2)	No.7, No.8	Çelik lif dozajı 30 kg/m ³ ve lifin %100'ü KMX 65/60 BG tipi olan numuneler
60 kg/m ³ %100 KMX 80/60 BG-1(2)	No.9, No.10	Çelik lif dozajı 60 kg/m ³ ve lifin %100'ü KMX 80/60 BG tipi olan numuneler
60 kg/m ³ %50 KMX 80/60 BG %50 KMX 65/60 BG-1(2)	No.11, No.12	Çelik lif dozajı 60 kg/m ³ ve lifin %50'si KMX 80/60 BG, %50'si KMX 65/60 BG tipi olan numuneler
60 kg/m ³ %100 KMX 65/60 BG-1(2)	No.13, No.14	Çelik lif dozajı 60 kg/m ³ ve lifin %100'ü KMX 65/60 BG tipi olan numuneler

Deneylerde kullanılan çelik lifler TS EN 14889-1 standartlarına göre üretim yapan ve Kayseri Organize Sanayiinde bulunan Kemerli A.Ş.'ye aittir. Çelik lifler Şekil 2.1'de gösterilen sonu kancalı sınıfına giren ve narinlik oranları farklı KMX 80/60 BG ve KMX 65/60 BG tipi çelik liflerdir.



Şekil 2.1. Sonu Kancalı Çelik Teller

Deneylerde kullanılan çelik liflerin geometri ve performans özellikleri Tablo 2.2'de, genel görünüşleri ise Şekil 2.2'de verilmiştir. Çelik lifler laboratuvarında bulunan betoniyer harç karma makinesine eklenerek karıştırılmış ve taneler birbirinden ayrıştırılmıştır. Daha sonra çelik lifler betonun içerisine homojen dağılım olacak şekilde eklenmiştir.

Tablo 2.2. Çelik liflerin özellikleri

Çelik Lif Tipi	Boy l_n (mm)	Çap d (mm)	Narinlik (Boy/Çap)	Yoğunluk (g/cm^3)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)
KMX 65/60 BG	60	0.9	65	7.85	Min 1150 N/mm^2
KMX 80/60 BG	60	0.75	80	7.85	Min 1200 N/mm^2



KMX 80/60 BG



KMX 65/60 BG

Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan çelik lifler

2.2. Betonarme Kirişler

2.2.1. Boyut Özellikleri

Deney numunelerinin boyutları belirlenirken kiriş davranışlarının tam olarak gözlemleyebilmek adına tam ölçekli olmasına karar verilmiştir. Ülkemizdeki betonarme yapılarda en çok kullanılan kiriş boyutları seçilmeye çalışılmıştır. Tüm kiriş numunelerinin en kesitleri ve kiriş uzunlukları aynı olup, kirişin toplam uzunluğu 4200 mm, kiriş mesnetleri arasındaki uzunluk 3200 mm, genişliği 250 mm ve yüksekliği 500 mm olarak seçilmiştir. Kiriş boyutları seçilirken TS500-2000 ve TBDY2018'e göre uygunluğu kontrol edilmiştir.

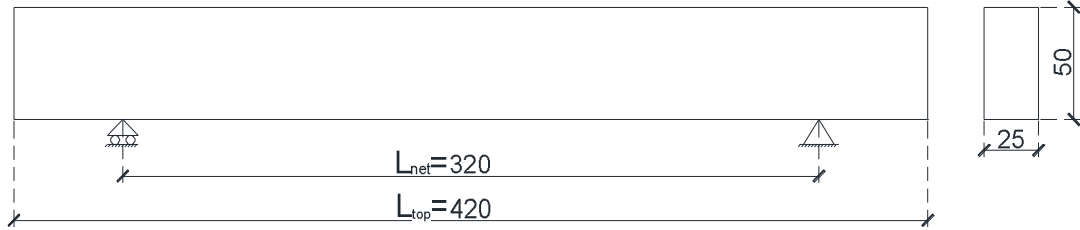
$$b_w = 250 \text{ mm} \geq 250 \text{ mm},$$

$$h = 500 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm},$$

$$h = 500 \text{ mm} \geq 3t \text{ (döşeme kalınlığı } t = 12 \text{ cm kabul edilerek),}$$

$$h = 500 \text{ mm} \leq 3.5 b_w = 875 \text{ mm}$$

Betonarme kirişlerin nihai boyutları yeterli olup, numune şematik görünümü Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Deney numunelerinin boyutları (Ölçüler cm cinsindedir.)

2.2.2. Donatı Detayları

Deney numunelerine ait donatı oranları hesaplanırken TBDY2018 ve TS 500-2000 de belirtilen minimum ve maksimum sınır şartlarına göre hesap yapılmış olup, numune üretiminde beton sınıfı olarak C30 ve donatı sınıfı olarak B420C seçilmiştir. Seçilen bu beton ve donatı sınıfları için karakteristik ve tasarım hesap değerleri aşağıda verilmiştir.

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}, f_{cd} = 20 \text{ MPa}, f_{ctk} = 1.9 \text{ MPa}, f_{ctd} = 1.25 \text{ MPa}, f_{yk} = 420 \text{ MPa}, f_{yd} = 365 \text{ MPa}$$

Deney numuneleri tasarlanırken boyuna ve enine donatı hesapları aşağıda verilmiştir.

Minimum boyuna donatı oranı;

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'e göre $\rho_{min} = 0.0028$ olarak hesaplanmıştır. Maksimum boyuna donatı oranı;

$$\rho_{max} = 0.85 \rho_b \quad (2.2)$$

$$\rho_{max} = 0.02 \quad (2.3)$$

Burada ρ_b dengeli donatı oranı olup

$$\rho_b = 0.85 k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{600}{600 + f_{yd}} \right) \quad (2.4)$$

değerler yerine yazıldığında $\rho_b = 0.0237$ olarak hesaplanmıştır. Dengeli donatı oranı yardımıyla $\rho_{max} = 0.0201$ olarak hesaplanmıştır. Çekme kırılması olacak şekilde, minimum ve maksimum donatı oranları dikkate alındığında deney numunelerinde kullanılacak olan donatı oranı bu değerler arasında olmalıdır.

$$\rho_{min} = 0.0028 < \rho < \rho_{max} = 0.02$$

TBDY 2018'e göre boyuna donatı çapı minimum Ø12 olup deney numunelerinde boyuna donatı olarak 4Ø12 seçilirse numunelere ait donatı oranı;

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (2.5)$$

eşitlik 2.5'den $\rho=0.0039$ olarak minimum boyuna donatıya yakın olarak seçilmiştir. Seçilen donatı oranı ρ_{\min} ve ρ_{\max} değerleri arasında kalması sebebiyle deney numuneleri için 4Ø12 boyuna donatı kullanılmıştır. Deney numunelerinde enine donatı için TS500-2000'e göre minimum kesme donatısı hesabı yapılırsa;

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \quad (2.6)$$

eşitlik 2.6'da enine donatı hesabı yapılarak, çift tesirli etriye yaklaşımı ile $A_{sw} = 100 \text{ mm}^2$ olarak hesaplanır ve A_{sw} , f_{ctd} , f_{ywd} , b_w değerleri yerine yazılırsa $s \leq 389 \text{ mm}$ olarak bulunur. Ayrıca TBDY2018 ve TS500-2000'de verilen enine donatılar için sarılma bölgesi ve kiriş orta bölgesinde minimum koşullar sağlanmalıdır;

kiriş sarılma bölgesinde,

$$s \leq h_k/4 = 500/4 = 125 \text{ mm}, s \leq 150 \text{ mm},$$

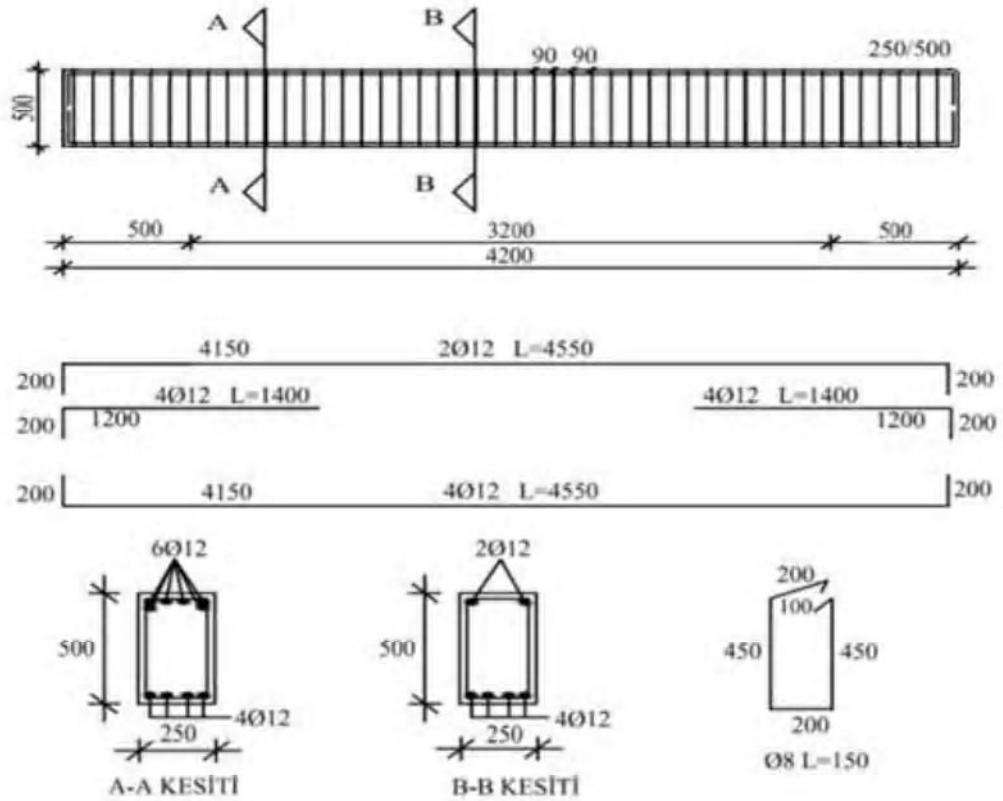
$$s \leq 8\phi = 8 \times 12 = 96 \text{ mm},$$

$$s \leq d/4 = 460/4 = 115 \text{ mm}$$

kiriş orta bölgesi,

$$s \leq d/2 = 460/2 = 230 \text{ mm}' \text{dir.}$$

Deney numunelerinde enine donatılar için gerekli koşullar dikkate alındığında, sarılma bölgesi ve kiriş orta bölgesi için Ø8/90 kesme donatısı seçilmiştir. Betonarme tasarım hesapları sonucunda, kirişin boyuna ve enine donatı detayları Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Betonarme kirişlerin donatı detayları

2.2.3. Malzeme Özellikleri

Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında aynı standartlarda farklı bir çalışma için silindir numuneler ve prizmatik beton kirişler oluşturularak, beton basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve prizmatik beton kiriş testleri yapılmıştır [10]. Ayrıca donatı çeliğinin çekme dayanımı testi yapılarak donatıların mekanik özellikleri de belirlenmiştir. Farklı bir çalışma için yapılan beton basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, prizmatik beton kiriş ve donatı çeliğinin çekme dayanımı testleri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir [10].

2.2.3.1. Beton Özellikleri

2.2.3.1.1. Beton Basınç Dayanımı Deneyleri

Aynı standartlarda farklı bir çalışma için beton basınç dayanımı özelliklerini belirlemek amacıyla her tip numuneden 2'şer adet olmak üzere toplamda 28 adet silindir numune alınmıştır. Silindir numuneler prizini aldıktan sonra 28 gün kür havuzunda bekletilmiş ve 14 tanesi beton basınç testine tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanım değerleri Tablo 2.3 de verilmiştir [10]. Elastisite modülü (E) TS500-2000' de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (2.7)$$

Tablo 2.3. Beton Basınç Dayanımı Değerleri [10]

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
No.1	35.54	33375.02
No.2	29.42	31628.07
No.3	40.31	34634.30
No.4	29.11	31540.97
No.5	31.01	32098.15
No.6	24.65	30135.85
No.7	35.27	33301.28
No.8	36.03	33508.12
No.9	24.28	30014.29
No.10	27.00	30887.50
No.11	30.91	32068.95
No.12	29.75	31726.66
No.13	26.95	30871.85
No.14	27.67	31095.74

2.2.3.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı DeneYleri

Aynı standartlarda farklı bir çalışmada yarmada çekme dayanımı deneyleri için her tip numuneden 2'şer adet olmak üzere toplamda 28 adet silindir numune alınmıştır. Silindir numuneler prizini aldıktan sonra 28 gün kür havuzunda bekletilmiş ve 14 tanesi yarmada çekme dayanımı testine tabi tutulmuştur. Yarmada çekme dayanımı deneylerinde, silindir numunelere uzunluğu boyunca basınç yükü uygulanmış olup, yükleme doğrultusuna dik doğrultudaki çekme kuvvetinin etkisiyle silindir numunelerde düşey çatlaklar meydana gelmiş ve kırılmıştır. Eşitlik 2.8'de yarmada çekme dayanım ifadesi verilmiştir.

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} \quad (2.8)$$

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm²),

F : En büyük yük, N,

L : Numunenin yükleme levhasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d : Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm

Yarmada çekme dayanımı için bulunan değerler Tablo 2.4'de verilmiştir [10].

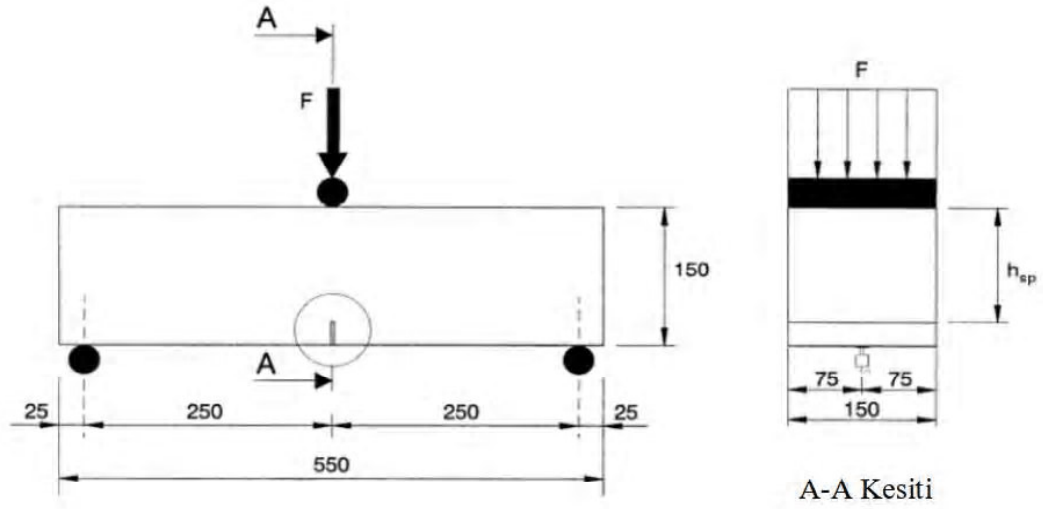
Tablo 2.4. Yarmada Çekme Dayanım Değerleri [10]

Numune Kodu	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
No.1	3.22
No.2	3.05
No.3	3.56
No.4	3.84
No.5	3.16
No.6	2.75
No.7	3.92
No.8	3.13
No.9	3.25
No.10	3.95
No.11	4.58
No.12	5.11
No.13	3.18
No.14	3.40

2.2.3.1.3. Prizmatik Beton Kiriş Deneyleri

Aynı standartlarda farklı bir çalışma için prizmatik beton kiriş deneylerinde kullanılmak üzere 150×150×600 mm boyutlarında 14 adet numune üretilmiş olup, eğilmede çekme deneyleri TS EN 14651+A1 standardına göre gerçekleştirilmiştir [10]. TS EN 14651+A1 standardı, uzunluğu en fazla 60 mm olan metal lifler için uygulanmakta olup metal lifli betonların eğilmede çekme dayanımını belirlemek ile ilgili bir yöntemi kapsamaktadır. Deney prensibi ise basit mesnetli çentikli bir prizma üzerinde merkezde noktasal yük uygulanarak oluşturulan yük-çatlak ağız açıklığı yer değiştirme eğrisi veya yük-sehim eğrisinden belirlenen kalıcı eğilmede çekme dayanımı olarak değerlendirilmektedir. Çentiğin genişliği en fazla 5 mm olmalı ve çentik numune orta noktasından 125±1 mm derinliğinde olmalıdır [28]. Deney şeması Şekil 2.5’de verilmiştir. Çentikli prizmatik beton kiriş yükleme deneyi Çatlak Ağız Açılma Deplasmanı (CMOD) sehim kontrollü yükleme cihazı ile yapılmaktadır. CMOD ve sehim arasındaki ilişki ise Eşitlik 2.9’da verilen bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$\delta = 0,85 \text{ CMOD} + 0,04 \quad (2.9)$$



Şekil 2.5. Prizmatik Beton Kiriş Deney Şeması [10]

Kalıcı eğilmede çekme dayanımı $f_{R,J}$ aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$f_{R,J} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \quad (2.10)$$

$f_{R,J}$: CMOD, $CMOD_j$ veya $\delta = \delta_j$ ($j = 1, 2, 3, 4$)'ya karşılık gelen kalıcı eğilmede çekme dayanımı (N/mm^2)

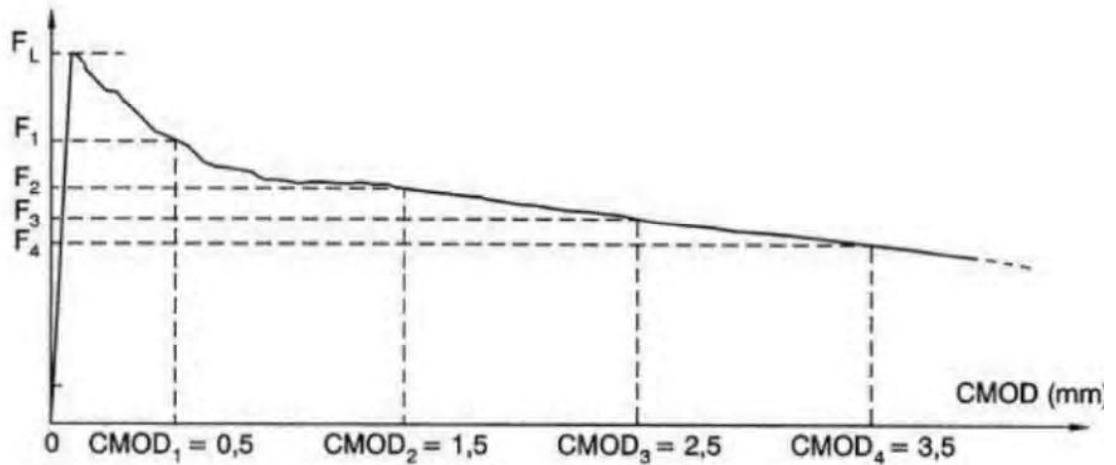
F_j : CMOD, $CMOD_j$ veya $\delta = \delta_j$ ($j = 1, 2, 3, 4$)'ya karşılık gelen yük, N

l : Açıklık uzunluğu (mm),

b : Numune genişliği (mm),

h_{sp} : Numunenin üst yüzeyi ile çentik ucu arasındaki mesafe (mm)

Tipik Yük-CMOD diyagramı Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Yük-CMOD diyagramı [10]

Orantısal sınır ise aşağıdaki denklemden belirlenmektedir.

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L l}{2bh_{sp}^2} \quad (2.11)$$

$f_{ct,L}^f$: Orantısal sınır (N/mm²)

F_L : Orantısal sınırdaki yük (N)

F_L yük değeri, 0,05 mm mesafeden ve yük-CMOD veya yük-sehim diyagramlarının yük eksenine paralel bir çizgi çizilerek ve 0.05 mm aralığında en yüksek yük değeri F_L alınarak belirlenmektedir. Yapılan deneyler sonunda yük-CMOD eğrileri elde edilmiş ve eğilmede çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır.

Deney numunelerine ait eğilmede çekme dayanımı için CMOD1, CMOD2, CMOD3 ve CMOD4 kalıcı dayanım değerleri verilmiştir. Maksimum yük ve orantısal sınıra bağlı olarak dayanımlar hesaplanmış, değerler Tablo 2.5.'de sunulmuştur.

Tablo 2.5. Numunelerin Eğilmede Çekme dayanım değerleri [10]

Numune Adı	Orantısız Sıma, LOP (Mpa)	Maksimum Eğilme Dayanımı, f_{maks} (Mpa)	Net Eğilme Dayanımı, f_{net} (MPa)	Rezidüel (kalcı) Dayanım, f_{rj} (MPa)				Orantısız Sıma denklemlen yük F_L (kN)	Maksimum Yük, f_{maks} (kN)	İlk Çatlak Yükü (kN)	Rezidüel (kalcı) Yük, F_j (kN)					
				CMOD ₁ =0.5mm	CMOD ₂ =1.5mm	CMOD ₃ =2.5mm	CMOD ₄ =3.5mm				CMOD ₁ =0.5mm	CMOD ₂ =1.5mm	CMOD ₃ =2.5mm	CMOD ₄ =3.5mm		
No.1	4.32	4.75	4.75	-	-	-	-	13.50	14.84	14.84	-	-	-	-	-	-
No.2	1.76	4.16	4.16	-	-	-	-	5.51	13.00	13.00	-	-	-	-	-	-
No.3	1.57	4.38	4.38	2.37	2.86	2.99	2.93	4.90	13.68	13.68	7.40	8.94	9.33	9.17	9.17	9.17
No.4	0.77	4.95	4.95	3.13	3.88	3.80	3.51	2.40	15.48	15.48	9.77	12.12	11.87	10.96	10.96	10.96
No.5	1.02	4.41	4.41	2.07	2.59	2.72	2.72	3.20	13.78	13.78	6.46	8.08	8.49	8.50	8.50	8.50
No.6	1.88	3.98	3.98	2.16	2.65	2.90	2.74	5.87	12.43	12.43	6.75	8.28	9.08	8.57	8.57	8.57
No.7	4.32	4.58	4.58	3.23	3.69	3.52	3.29	13.51	14.32	14.32	10.09	11.54	10.99	10.28	10.28	10.28
No.8	2.57	2.57	2.57	2.38	2.37	2.33	2.03	8.04	8.04	8.04	7.45	7.42	7.28	6.34	6.34	6.34
No.9	1.13	6.73	5.23	6.27	6.38	5.73	5.17	3.54	21.03	16.34	19.59	19.95	17.91	16.17	16.17	16.17
No.10	0.69	6.24	5.03	5.73	6.22	6.11	5.75	2.15	19.51	15.73	17.91	19.43	19.10	17.98	17.98	17.98
No.11	1.09	6.32	4.69	5.34	6.17	6.21	5.51	3.42	19.76	14.65	16.69	19.28	19.42	17.21	17.21	17.21
No.12	1.44	9.37	5.47	7.37	9.06	9.29	8.66	4.50	29.27	17.08	23.02	28.31	29.02	27.06	27.06	27.06
No.13	1.13	5.82	5.11	5.12	5.66	5.66	5.57	3.54	18.19	15.98	15.99	17.70	17.68	17.40	17.40	17.40
No.14	1.50	5.58	5.05	4.93	5.28	5.49	5.41	4.70	17.45	15.77	15.40	16.51	17.15	16.90	16.90	16.90

2.2.3.2. Donatı Özellikleri

Aynı standartlarda farklı bir çalışma için betonarme kirişlerde kullanılan donatıların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla donatı çekme deneyi yapılmıştır. Betonarme kirişlerde donatılar B420C sınıfında olup nervürlü çelik kullanılmıştır. Numune üretiminde boyuna donatı olarak kullanılan 12 mm ve etriye olarak kullanılan 8 mm çaplarındaki donatılardan 3'er adet olmak üzere toplamda 6 adet numune alınarak donatı çekme deneyi yapılmıştır. Donatılara ait mekanik özellikler Tablo 2.6'da verilmiştir [10].

Tablo 2.6. Donatıların Mekanik Özellikleri [10]

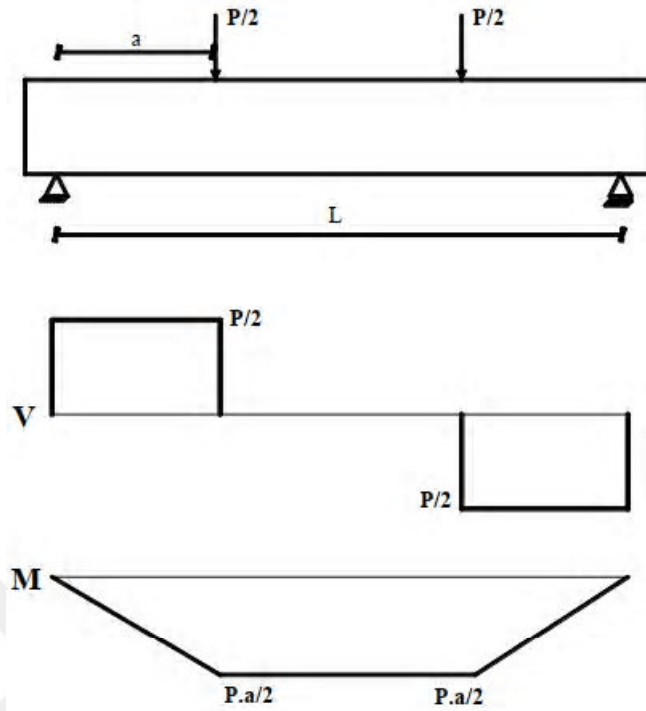
Numune No	Çap	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı /Akma dayanımı (R_m/R_e)	Kopma Uzaması (%)
1	Ø8	496	646	1.30	25.2
2		509	610	1.19	32.9
3		511	613	1.19	27.3
1	Ø12	474	577	1.21	19.8
2		459	570	1.24	24.2
3		445	571	1.28	25.0

Donatı çekme deneyi sonucunda TBDY 2018'e göre donatı değerlendirilmesi yapıldığında TS 708'de verilen koşullara göre tüm numuneler için "çekme dayanımı/akma dayanımı" oranının $1.15 \leq R_m/R_e < 1.35$ aralığında olduğu, deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranının ($R_{e\text{ act}}/R_{e\text{ nom}}$) maksimum 1.30 olması ve kopma uzamasının en az % 12 oranında olması gerektiği gibi koşulları sağladığı görülmüştür.

Ayrıca TS 708'de B420-B500 çelikleri için maksimum karbon eş değeri %0.50 ile sınırlandırılmıştır. Tablo 2.6. da kopma uzama yüzdeleri dikkate alındığında test edilen çeliklerin yüksek karbonlu çelik sınıfına girmedikleri görülmektedir.

2.2.4. Betonarme Kirişin Teorik Taşıma Gücü Hesabı

Deneysel basit mesnet kullanılarak dört noktadan yükleme yapılması tasarlanmıştır. Referans kirişin taşıma gücünü hesaplamak için Şekil 2.7.'de gösterilen basit mesnet şartlarında, kesme ve moment diyagramları verilmiştir.



Şekil 2.7. Basit kiriş kesme ve moment diyagramı

Taşıma gücü hesabı yapılırken referans kirişe ait beton ve donatı dayanım ortalamaları göz önüne alınarak hesaplama yapılmıştır. Deney numunelerinde açıklık bölgesinde çekme bölgesi için 4Ø12 boyuna donatı, basınç bölgesi için 2Ø12 donatı ve etriye olarak Ø8/90 kullanılmıştır. Yükleme noktaları arası 400 mm olup, hesaplamalarda kullanılacak olan veriler aşağıda açıklanmıştır.

$$a=1400 \text{ mm}, d=460 \text{ mm}, L_{\text{net}}=3200 \text{ mm}, V=P/2 \text{ (kN)}, M=700P \text{ (kN.mm)} =0.7P \text{ (kN.m)}$$

$$A_s=452 \text{ mm}^2 \text{ (4Ø12)}, A_s'=226 \text{ mm}^2 \text{ (2Ø12)}, h=500 \text{ mm}, b_w=250 \text{ mm}, d'=40 \text{ mm}$$

$$f_{ck}=32.48 \text{ MPa}, f_{yk}=459.3 \text{ MPa}, f_{ctk}=\frac{(3.22+3.05)}{2 \times 1.5} = 2.09 \text{ MPa}, k_1=0.82$$

Basınç donatısı akmadığı için ;

$$\underbrace{(0.85 \times f_{ck} \times b_w \times k_1)}_{A_1} \times c^2 + \underbrace{(A_s' \times 600 - A_s \times f_{yk})}_{A_2} \times c + \underbrace{(-A_s' \times 600 \times d')}_{A_3} = 0 \quad (2.12)$$

$$(5659.64) \times c^2 + (-72003.6) \times c - 5424000 = 0$$

$$c_{1,2} = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 - 4A_1A_3}}{2A_1} \quad (2.13)$$

Anlamalı olan c seçilir c=37.96 mm bulunur.

$$\sigma'_s = 600 \times \left(\frac{c-d'}{c} \right) \quad (2.14)$$

$\sigma'_s = -32.24$ MPa olarak bulunur.

Deney numunelerinin taşıma gücü momenti ise;

$$M_r = 0.85 \times f_{ck} \times b_w \times k_1 \times c \left(d - \frac{k_1 \times c}{2} \right) + A'_s \times \sigma'_s \times (d-d') \quad (2.15)$$

$M_r = 92.42$ kN.m olarak bulunur. $M = 0.7P$ değeri için $P = 132$ kN olarak bulunur.

Kesmeye göre hesap yapılırsa;

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \times f_{ywk} \times d \quad (2.16)$$

$$V_w = \frac{100}{90} \times 505.33 \times 460 \times 10^{-3} = 258.27 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctk} \times b_w \times d \quad (2.17)$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 2.09 \times 250 \times 460 \times 10^{-3} = 156.23 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 \times V_{cr} \quad (2.18)$$

$$V_c = 0.8 \times 156.23 = 124.98 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_w \quad (2.19)$$

$V_r = 124.98 + 258.27 = 383.25$ kN, $V = P/2$ değeri için $P = 766.5$ kN olarak bulunur.

Kesme ve moment hesaplarına göre bulunan P değerlerinden küçük olanı referans kirişin teorik taşıma gücünü ifade etmektedir. İki değer karşılaştırıldığı zaman ($766.5 \text{ kN} > 132 \text{ kN}$) kirişin teorik olarak taşıma gücü 132 kN olup kirişte eğilme kırılması beklenmektedir.

2.3. Deney Numunelerinin Üretilmesi

Deney numuneleri Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında üretilmiştir. Tüm kirişler aynı boyutta olduğundan 14 adet deney numunesi aynı anda hazırlanmıştır. Deney numuneleri için öncelikle plywood kalıplar

kullanılarak kalıp işlemleri tamamlanmıştır (Şekil 2.8). Beton dökümü sırasında kalıpların açılmaması için takviye edici malzemeler ile desteklenmiştir.



Şekil 2.8. Kalıpların hazırlanması

Kalıplar tamamlandıktan sonra Şekil 2.4'deki betonarme kirişlerin donatı şemasına uygun olarak hazırlanan donatıları (Şekil 2.9) pas payı dikkate alınarak kalıpların içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.9. Donatıların hazırlanması



Şekil 2.10. Donatıların kalıp içerisine yerleştirilmesi

Hazır beton firmasının üretmiş olduğu C30 sınıfındaki beton, kalıplar içerisine her tip kiriş için çelik lif oranlarına göre dökülmüştür. Beton dökümü sırasında betonun kalıplara tam anlamıyla yerleşmesi için vibratör kullanılmıştır. Şekil 2.2’de görülen çelik lifler Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında bulunan betoniyer makinesi içerisine eklenerek karıştırılmıştır. Çelik liflerin tutkallı halden taneli hale ayrışması sağlanmıştır. Miksere katılan çelik lifler beton ile karıştırılarak homojen olacak şekilde kalıba dökülmüştür (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Beton dökümü ve vibratör uygulaması

Betonarme kiriş deney numunelerine, beton kürü için 10 gün boyunca sulama yapılmış ve ardından kalıplardan çıkarılarak forklift yardımıyla, Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarı deney alanına alınmıştır. Deneyler esnasında kirişlerde oluşacak çatlakların daha iyi gözlemlenmesi adına numuneler beyaz boya ile boyanmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Kirişlerin laboratuvara alınması ve boyanması

2.4.Betonarme Kiriş Deneyleri

2.4.1. Deney Düzenegi

Deney düzenegi oluşturulurken, betonarme kirişin oturacağı mesnetlerde mil ile teşkil yapılmıştır. Milin sabit olan mesnette dönmesi engellenmiş ve sabit mesnet oluşturulmuştur. Milin kayıcı olan mesnette dönmesi serbest bırakılarak kayıcı mesnet oluşturulmuştur. (Şekil 2.13 a ve b).

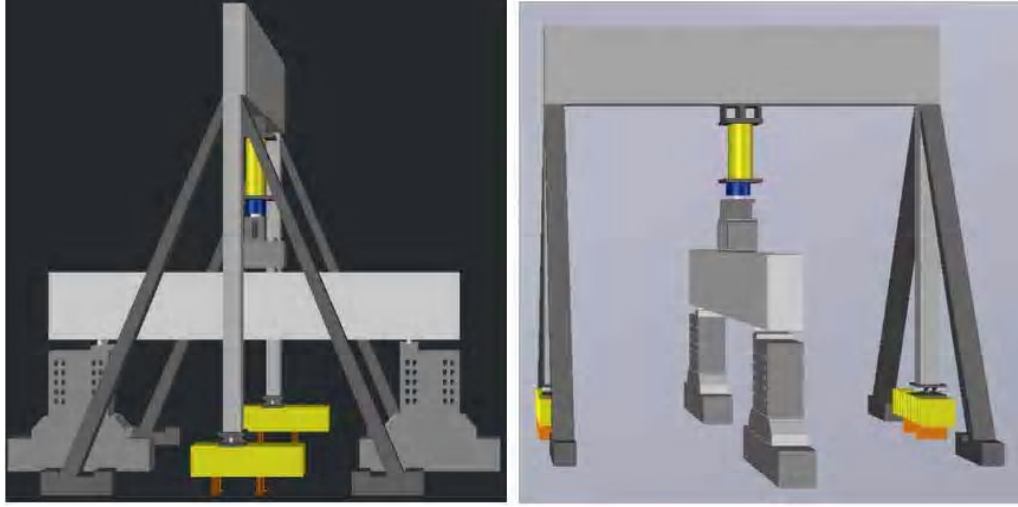


Hareketli Mesnet (a)

Sabit Mesnet (b)

Şekil 2.13. Basit Kiriş Deney Düzenegi Çalışmaları

Çelik mesnet ayakları galerili döşeme sistemine, mesnetler arası uzunluk 3200 mm olacak şekilde çelik miller yardımıyla sabitlenmiştir. Yükleme sistemi için laboratuvarında bulunan iki ucu mafsallı çelik çerçeve sistemi kullanılmıştır (Şekil 2.14).

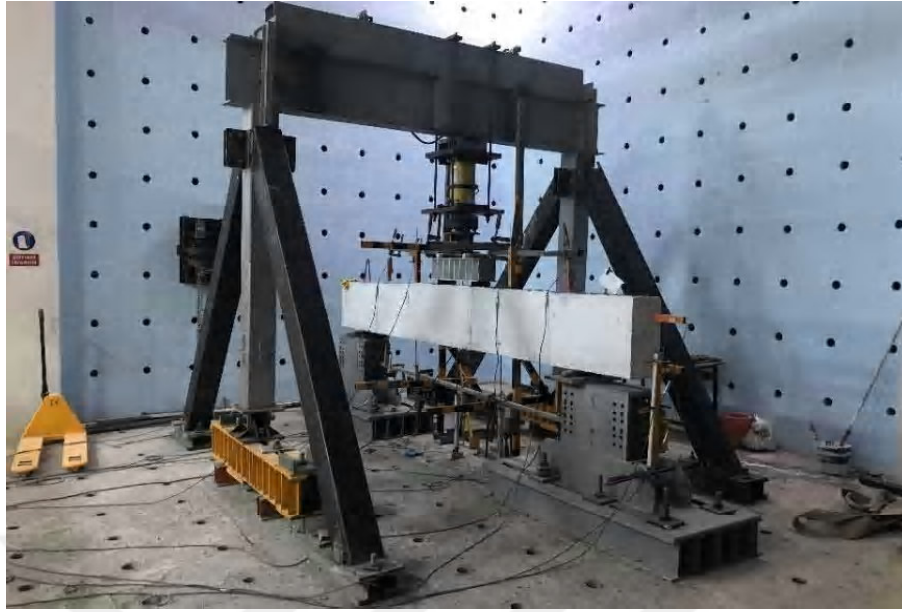


Şekil 2.14. Tasarlanan Deney Düzeneği

Çerçeve sisteminin iki ucunun mafsallı olması sebebiyle hem çerçevenin sabit durması hem de çerçeveye gelen yükün paylaşılması amacıyla çerçeve ayaklarına aynı boyutta çelik kutu profiller ile payanda olacak şekilde sabitlenmiştir (Şekil 2.15-16).



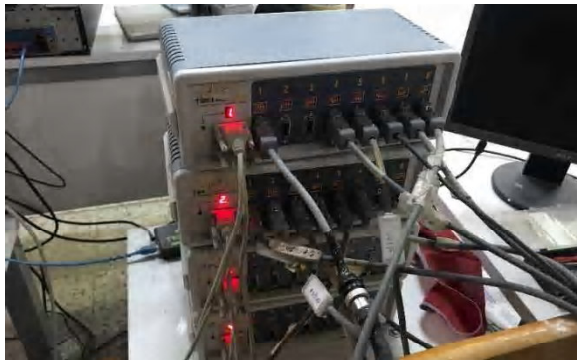
Şekil 2.15. Deney Düzeneği Çalışmaları



Şekil 2.16. Tamamlanan Deney Düzenegi

2.4.2. Deney Ölçüm Düzeni ve Kullanılan Cihazlar

Deneylede yükleme için 1 adet motorlu hidrolik kriko ve yük hücresi, yükleme sırasında oluşan deplasmanları takip etmek için 6 adet elektronik deplasman ölçer (LVDT) ve deplasman değeri büyük olması beklenen kirişin orta noktası için 1 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Her deneyden önce LVDT ve potansiyometrik cetvelin kalibrasyonları yapılmıştır. Hidrolik silindirin ucuna bağlı olan yük hücresi kirişe uygulanan yükü ölçmemizi sağlamaktadır. Kirişe gelen yükü görmek ve deplasman ölçerlerden gelen verileri takip etmek için veri toplama cihazı kullanılmış ve “*TestLAB Basic*” bilgisayar yazılımı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 2.17’de veri toplama cihazı görülmektedir.



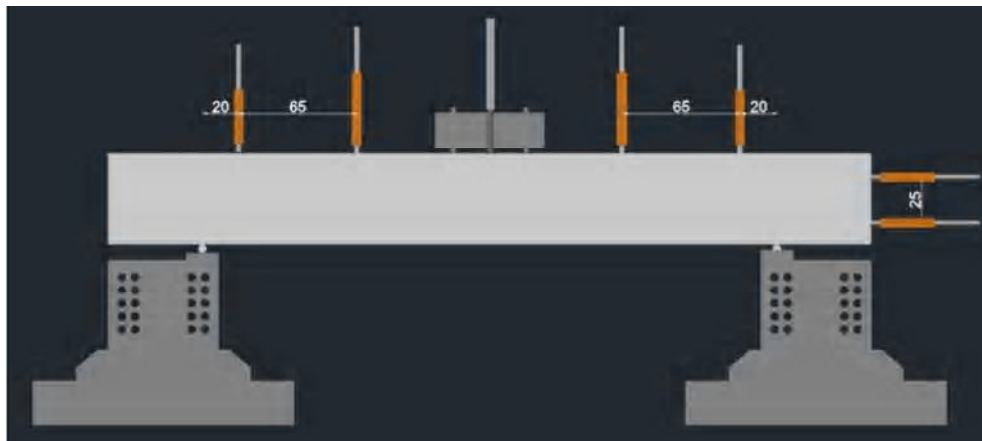
Şekil 2.17. Veri Toplama Cihazı

Yük hücresinin ölçüm kapasitesi 1000 kN, hidrolik silindirin genliği ise 260 mm'dir. Deneylerde deplasman ölçme genliği olarak 200 mm ve 100 mm olmak üzere 2 çeşit LVDT ve 300 mm deplasman ölçme genliğine sahip potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Kiriş orta noktasına 200 mm ölçme genliğine sahip ve mesnet bölgesine de 100 mm ölçme genliğine sahip LVDT kullanılmıştır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Deneylere başlamadan önce yüklemeye kirişi ve deplasman ölçüm cihazları su terazisine alınmış, ayrıca doğru sonuçlar elde etmek adına kirişin ölçüm alınacak noktalarına pürüzsüz yüzeyler elde etmek için sert plastikler yapıştırılarak deneylere başlanmıştır. Ölçüm cihazlarının konumu Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. Ölçüm Cihazlarının Konumu (Ölçüler cm cinsindedir)

Deneylere başlamadan önce deplasman ölçerlerin adedi ve konumu belirlenmiş ve ilk deneyde kiriş numunesinin altında 3 adet potansiyometrik cetvel, 2 adet LVDT, üstünde ise 4 adet LVDT ve mesnet yan bölgesinde 2 adet LVDT olacak şekilde deneye geçilmiştir. Deney esnasında kirişe maksimum yükün yüklenmesiyle birlikte çekme donatıları kopmuş, kiriş kırılmış ve bu sebeple kirişin altında olan ölçüm aletleri zarar görmüştür (Şekil 2.20). Sonraki deneylerde, altta bulunan ölçüm cihazları kaldırılarak orta noktadaki deplasmanı ölçmek amacıyla kirişin üst bölgesinin orta noktasına potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir.



Şekil 2.20. İlk deneydeki kirişin kırılma anı ve zarar gören deplasman ölçüm cihazları

2.4.3. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

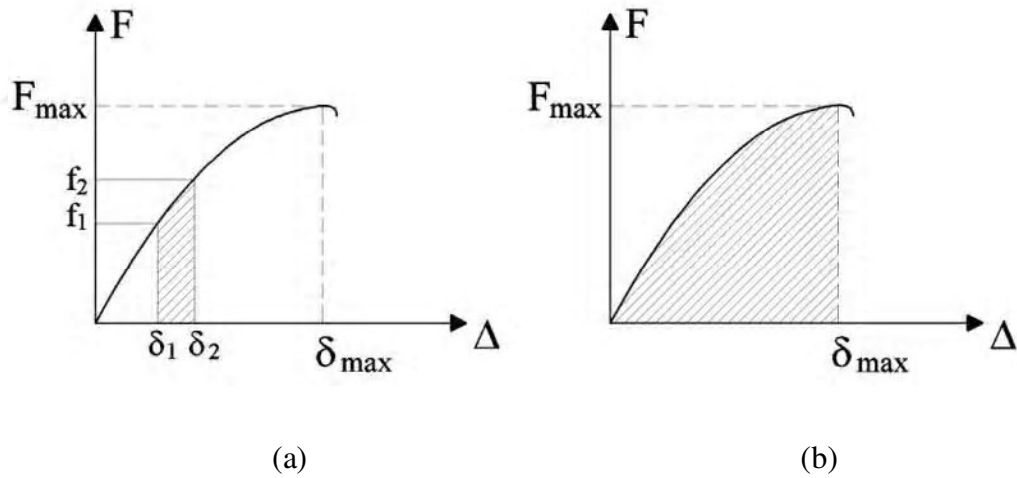
Deney esnasında kullanılan deplasman ölçüm aletlerinden veri toplama sistemine gelen değerler “*TestLAB Basic*” isimli bilgisayar yazılımı sayesinde bilgisayara aktarılarak her bir kiriş için yük-orta nokta deplasman grafikleri, tüketilen enerji miktarları, rijitlik grafikleri, süneklik değerleri ve moment-eğrilik grafikleri çizilmiş ve deney numunelerinin davranış özellikleri belirlenmiştir.

2.4.3.1. Yük-Deplasman Grafiklerinin Çizilmesi

Yük-orta nokta deplasman grafiklerinin çizilebilmesi için deneyler sırasında bilgisayar ortamına gelen yük hücresinin ve kiriş orta noktasındaki potansiyometrik cetvelin verilerinden yararlanılmıştır. Grafiklerde, düşey eksen kirişe uygulanan yükü, yatay eksen ise kiriş orta noktasında bulunan potansiyometrik cetvelin deplasman değerini göstermektedir.

2.4.3.2. Tüketilen Enerji Miktarının Hesaplanması

Deney numuneleri için tüketilen enerji miktarları hesaplanırken yük-orta nokta deplasman grafiğinden faydalanılır. Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Her bir yükleme değeri için bir birimlik alan ayrı ayrı hesaplanıp toplanırsa deney numunesinin toplam tüketilen enerji miktarı bulunur.



Şekil 2.21. Tüketilen Enerji Miktarının Hesabı

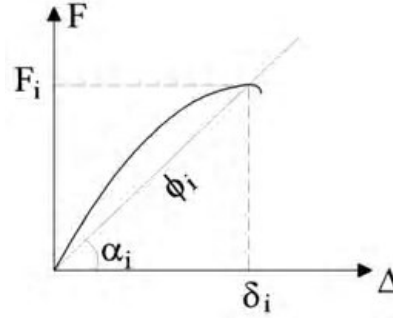
(a) Bir birimlik alan (b) Toplam hesaplanan alan

Şekil 2.21.(a)'da ki alanı trapez gibi düşünürsek Eşitlik 2.20'ye göre hesap yapılmıştır.

$$dA = (\delta_2 - \delta_1) \times \frac{(f_1 + f_2)}{2} \quad (2.20)$$

2.4.3.3. Rijitlik Grafiklerinin Çizilmesi

Deney numuneleri için rijitlik grafikleri çizilirken yük-orta nokta deplasman grafiğinden faydalanılmış olup Şekil 2.22’de verilen grafikte F_i yükünün δ_i orta nokta deplasman değerine oranı, o yüklemdeki rijitlik değerini vermektedir.



Şekil 2.22. Rijitlik Değerlerinin Hesabı

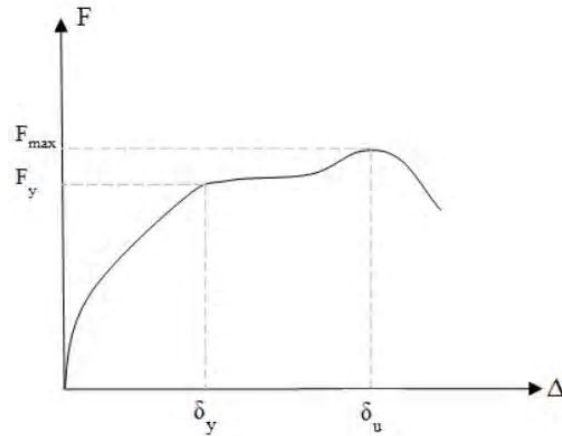
$$\text{Rijitlik } (\varphi_i) = F_i / \delta_i \quad (2.21)$$

Eşitlik 2.21’den bulunan rijitlik değerleri ile birlikte her bir numune için rijitlik azalım grafikleri ve $\varphi_j / \varphi_{ilk} (K_j / K_{ilk})$ grafikleri çizilmiştir.

Rijitlik azalım grafiklerinde, dikey eksen rijitlik değerini yatay eksen ise o yüklemdeki orta nokta deplasman değerini göstermektedir. $\varphi_j / \varphi_{ilk} (K_j / K_{ilk})$ grafikleri çizilirken; her bir yükleme için bulunan rijitlik değerleri, ilk yüklemdeki rijitlik değerine oranlanır. Başlangıçta 1 olan bu oran sonraki yüklemelerle birlikte rijitliğin ne oranda azalacağı hakkında bilgi verecektir. $\varphi_j / \varphi_{ilk} (K_j / K_{ilk})$ grafiklerinde, dikey eksen $\varphi_j / \varphi_{ilk}$ değerlerini yatay eksen ise orta nokta deplasman değerlerini göstermektedir.

2.4.3.4. Süneklik Değerlerinin Elde Edilmesi

Süneklik; bir yapının, yapı elemanının veya kesitin yük taşıma kapasitesinde önemli ölçüde azalma olmadan büyük deformasyonlar yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır [30]. Süneklik değerleri bulunurken yük-orta nokta deplasman eğrilerinden yararlanılmıştır. Göçme anındaki yük, yük-orta nokta deplasman grafiğindeki son yük değerini, deplasmanı ise bu değere karşılık gelen deplasman değeridir. Süneklik, göçme anındaki deplasmanın, akma anındaki deplasman değerine oranıdır (Şekil 2.23). Süneklik değerleri Eşitlik 2.22 ile hesaplanmıştır.



Şekil 2.23. Süneklik Değerlerinin Hesabı

$$\mu_{\delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2.22)$$

2.4.3.5. Moment-Eğrilik Grafiklerinin Çizilmesi

Deney numuneleri için Şekil 2.7’ de verilen moment diyagramı yardımıyla moment-eğrilik grafikleri çizilmiştir. Moment değerleri her bir anlık yüke göre değişmektedir. Eşitlik 2.23’e göre bulunan moment değerleri kullanılmıştır.

$$M = \frac{P \times a}{2} \quad (2.23)$$

Eğrilik değerlerini bulmak için Şekil 2.24’deki ρ (eğrilik yarıçapı) değerini bulmak gerekir. Eğrilik ($1/\rho$) dir. Şekil 2.24’de AB doğrusu kirişin eğilmeden önceki kiriş açıklığını, AB yayı eğilmeden sonraki kiriş açıklığı, AE doğrusu, mesnet ile kiriş arasındaki ilk ölçüm alınan nokta arasını, AF doğrusu kiriş mesneti ile kiriş orta noktası arasındaki mesafeyi ve AD doğrusu eğrilik yarıçapını (ρ) göstermektedir. İlk olarak kirişe uygulanan yük ile kiriş düzleminde ötelenme meydana gelecektir. A ve B noktasından eğilmiş kirişe teğet çizilirse, AC ve BC doğruları meydana gelecektir. AGE üçgeni, ACF üçgeni ve DCA üçgeni benzer üçgenlerdir. AGE ve ACF üçgenlerinin benzerliklerinden faydalanarak CF uzunluğu bulunmuştur. Bulunan bu uzunlukların ardından ACF ve DCA üçgenlerinin benzerlikleri kullanılarak AD uzunluğu yani eğrilik yarıçapı hesaplanmıştır. Böylece eğrilik değeri elde edilmiştir [36].

Bulunan bu değerler sonucunda moment-eğrilik grafiklerinde, düşey eksen moment değerini yatay eksen ise o momente karşılık gelen eğrilik değerini göstermektedir.

3.BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Betonarme Kiriş Deney Bulguları

Bu bölümde 14 adet betonarme kirişe ait deney sonuçları verilmiştir. Deney sonuçlarının daha iyi anlaşılması ve davranış farklılıklarını belirlemek amacıyla her deney numunesi için aşağıdaki verilen grafikler oluşturulmuştur.

- Yük-Orta Nokta Deplasmanı grafiği,
- Rijitlik Azalım grafiği,
- K_j/K_{ilk} grafiği,
- Moment-Eğrilik grafiği.

Grafiklerle birlikte her bir deney numunesinin, deney öncesi ve sonrası görünüşleri gösterilmiştir. Deneylere başlamadan önce her bir kiriş numunesi beyaz boya ile boyanarak çatlakların daha iyi gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

3.1.1. No.1 Deney Bulguları

Betonarme kiriş deneylerine ilk olarak referans kirişlerden başlanmıştır. No.1 deneyinde; 2. bölümde '*Deney Ölçüm Düzeni ve Kullanılan Cihazlar*' konu başlığında anlatıldığı üzere kiriş numunesinin altında 3 adet potansiyometrik cetvel, 2 adet LVDT, üstünde ise 4 adet LVDT ve mesnet yan bölgesinde 2 adet LVDT olacak şekilde uygulamaya geçilmiştir. Ancak deney esnasında kirişe maksimum yükün yüklenmesiyle birlikte çekme donatıları kopmuş, kiriş kırılmış ve bu sebeple kirişin altında olan ölçüm aletleri zarar görmüştür. Sonraki deneylerde, altta bulunan ölçüm cihazları kaldırılarak orta noktadaki deplasmanı ölçmek amacıyla kirişin üst bölgesinin orta noktasına potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir. No.1 kirişinin yükleme düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. No.1 kiriş numunesinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanması ile birlikte ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş donatıları akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 155.77 kN, orta nokta deplasman değeri 9.80 mm olarak ölçülmüştür. Devam eden yük değerlerinde eğilme çatlaklarının sayısı, ilk çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 189.85 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 34.73 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 129.57 kN yükte çekme donatıları kopmuş ve mekanizma durumu ortaya çıkmıştır. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 143.27 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişte çekme donatılarının orta

bölgede kopmasıyla birlikte göçme gerçekleşmiştir. Böylece yüklemeye son verilmiştir. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



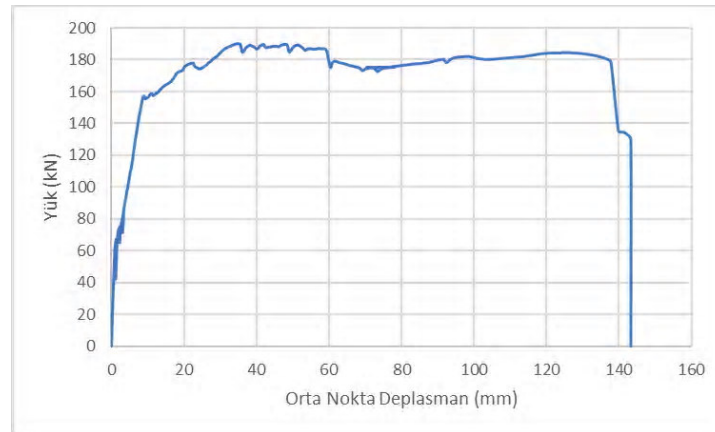
Şekil 3.2. No.1 kirişi kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



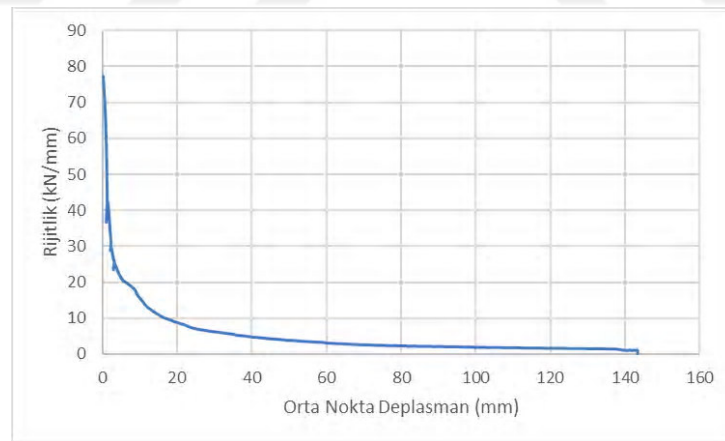
Şekil 3.3. No.1 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.1 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.4’de verilmiştir.



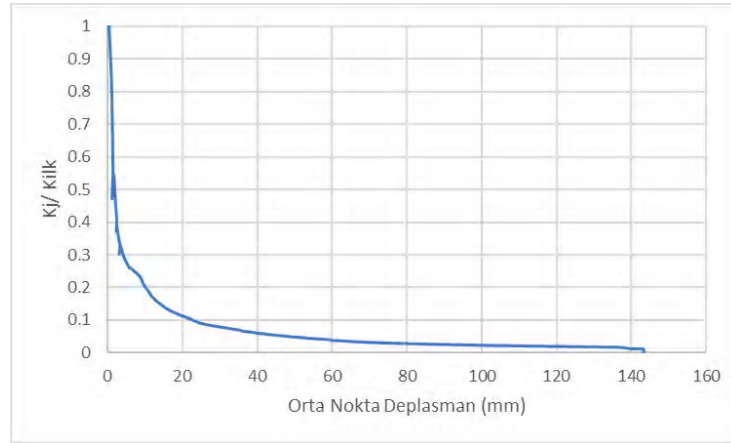
Şekil 3.4. No.1 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan, deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 24856 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.5).

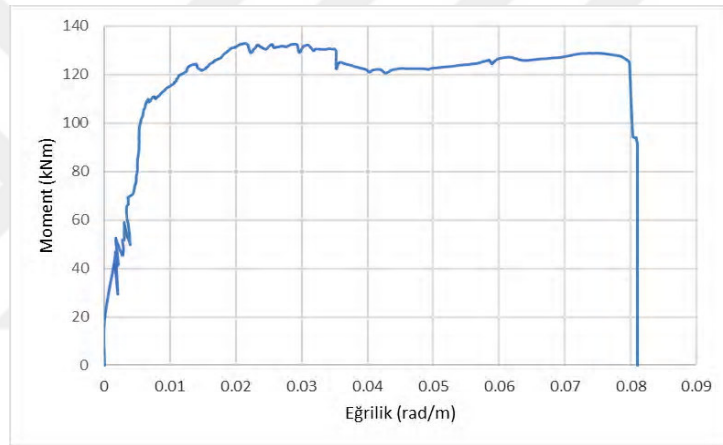


Şekil 3.5. No.1 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.6'da verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.7'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.6. No.1 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.7. No.1 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.2. No.2 Deney Bulguları

No.2 kirişinin yükleme düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. No.2 kiriş numunesinin deney öncesi görünümü

Deney numunesine yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 163.89 kN, orta nokta deplasman değeri 9.50 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 187.55 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 42.47 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 166.49 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri için potansiyometrik cetvelin gösterdiği değer 89.88 mm olup deplasman ölçerin bu değerde sıkıştığı fark edilmiştir. Betonarme kirişin göçme mekanizması Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



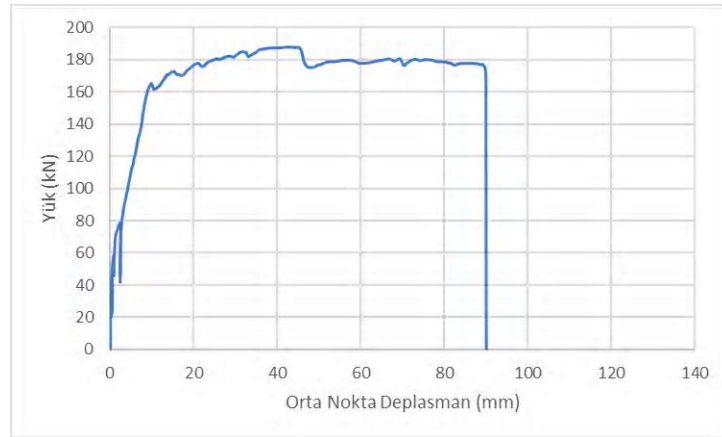
Şekil 3.9. No.2 kirişi kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



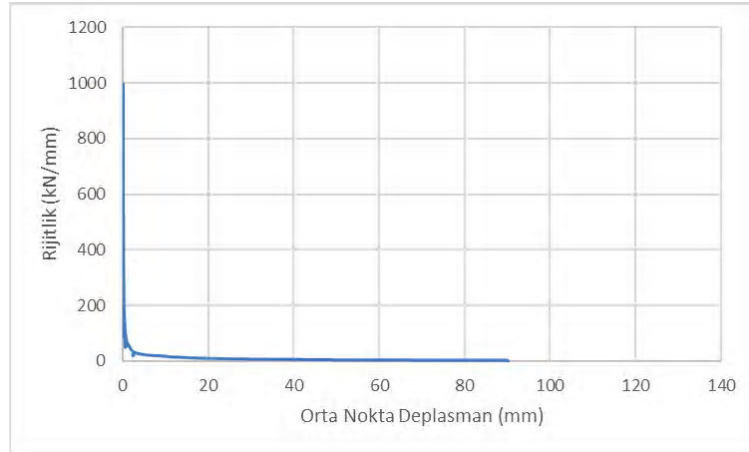
Şekil 3.10. No.2 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.2 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.11’de verilmiştir.



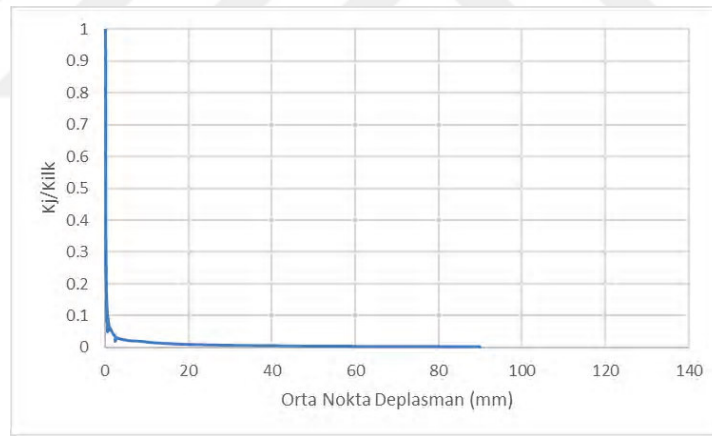
Şekil 3.11. No.2 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 15396 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemede oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.12).

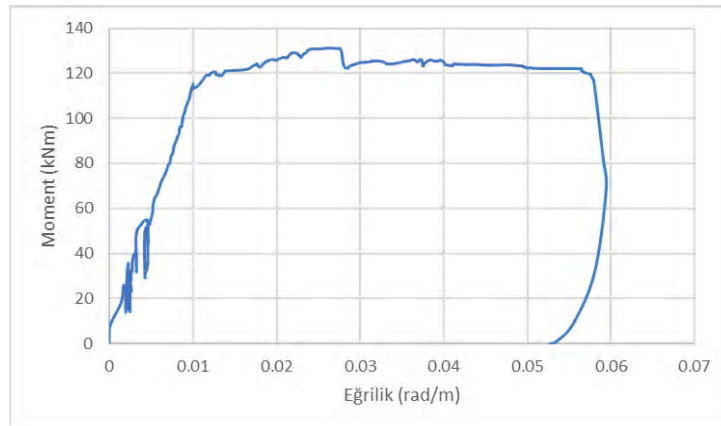


Şekil 3.12. No.2 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.13'de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.14'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.13. No.2 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.14. No.2 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.3. No.3 Deney Bulguları

No.3 numunesinde gerekli okumalar deney boyunca alınmıştır. No.3 kirişinin yükleme düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 3.15’de verilmiştir.



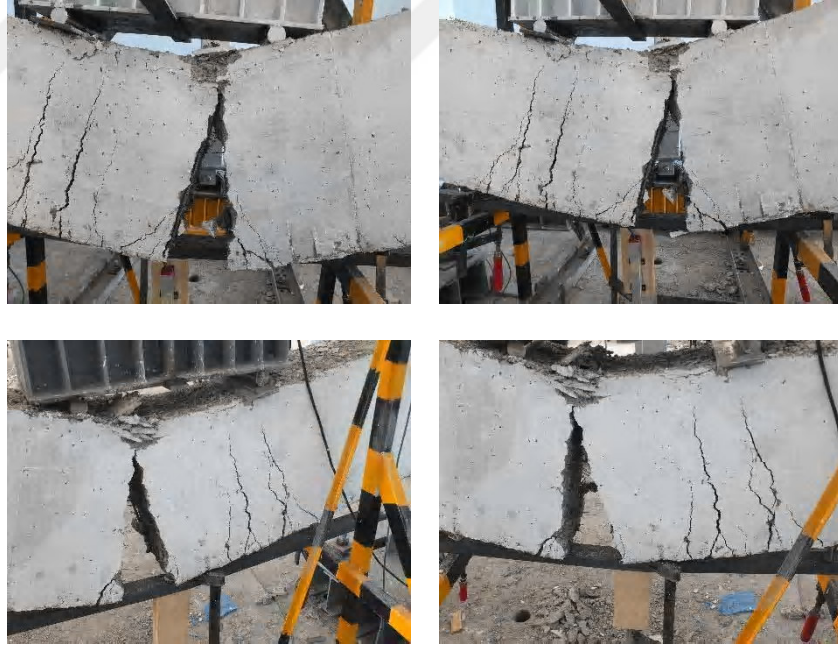
Şekil 3.15. No.3 kiriş numunesinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 175.75 kN, orta nokta deplasman değeri 10.15 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 205.03 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 54.04 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 193.16 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 109.77 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin göçme modu Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



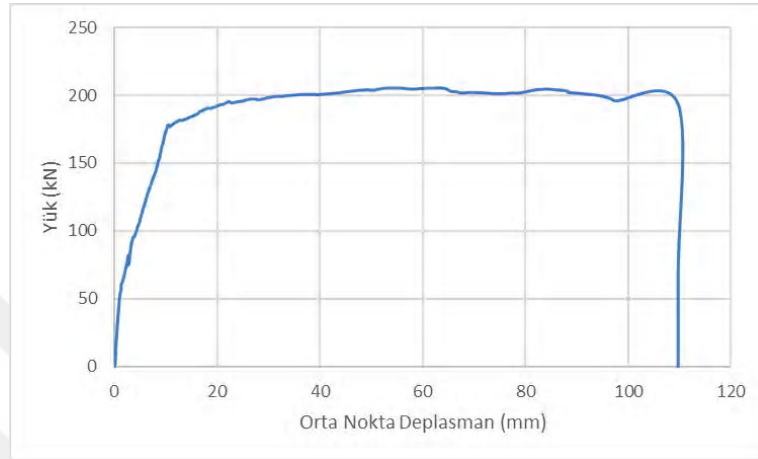
Şekil 3.16. No.3 kiriş numunesinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



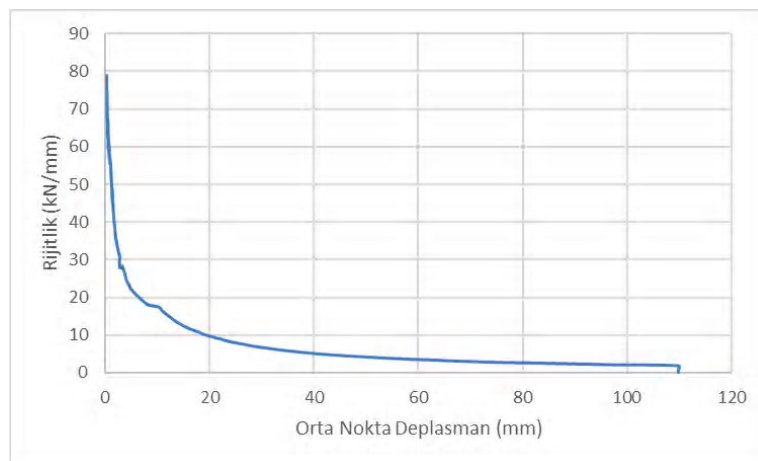
Şekil 3.17. No.3 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.3 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.18’de verilmiştir.



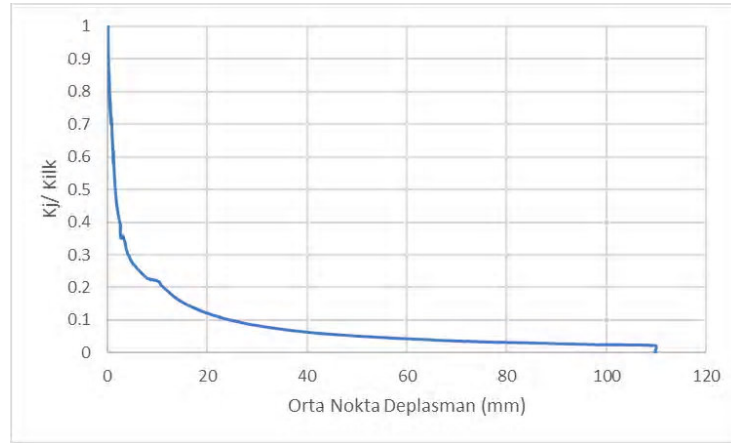
Şekil 3.18. No.3 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan, deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 20886 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemeye oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.19).

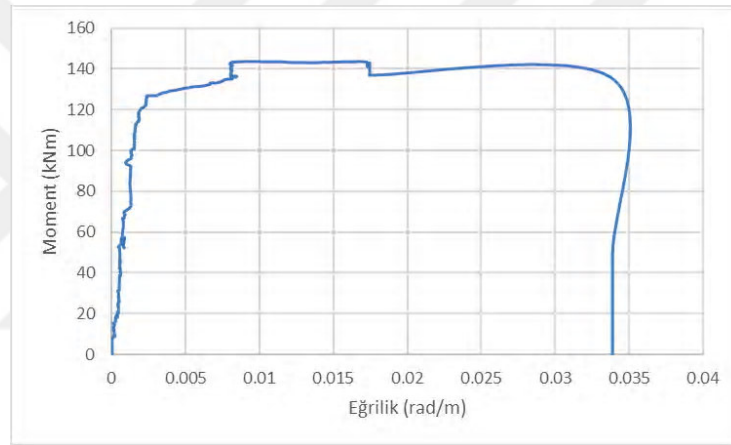


Şekil 3.19. No.3 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.20’de verilmiştir. Her bir yüklemeye için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.21’de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.20. No.3 kirişi K_i/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.21. No.3 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.4. No.4 Deney Bulguları

Deplasman ölçerler ölçüm düzenine uygun şekilde yerleştirilmiş ve No.4 betonarme kirişinin deneye başlamadan önce yükleme düzenindeki hali Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22. No.4 kirişinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 176.09 kN, orta nokta deplasman değeri 11.96 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 199.04 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 58.26 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 185.66 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 109.08 mm ölçülmüştür. Böylece yüklemeye

son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 100.96 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.23’de gösterilmiştir.



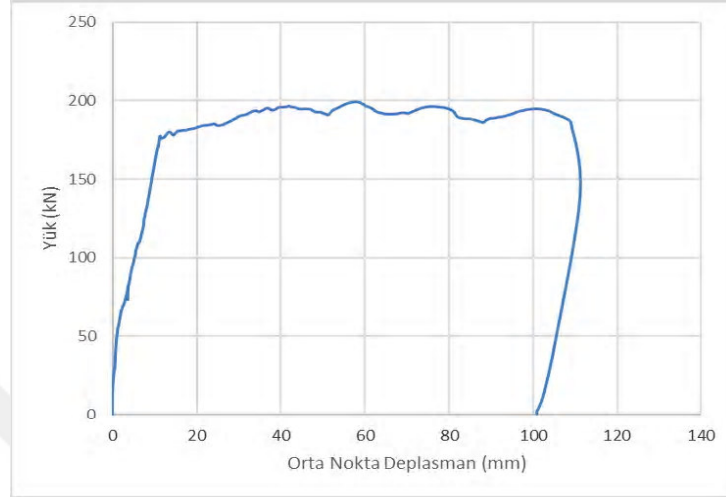
Şekil 3.23. No.4 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.24’de gösterilmiştir.



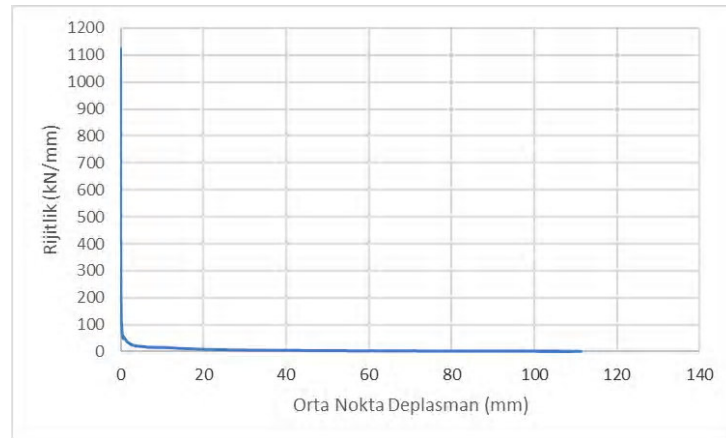
Şekil 3.24. No.4 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.4 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.25’de verilmiştir.



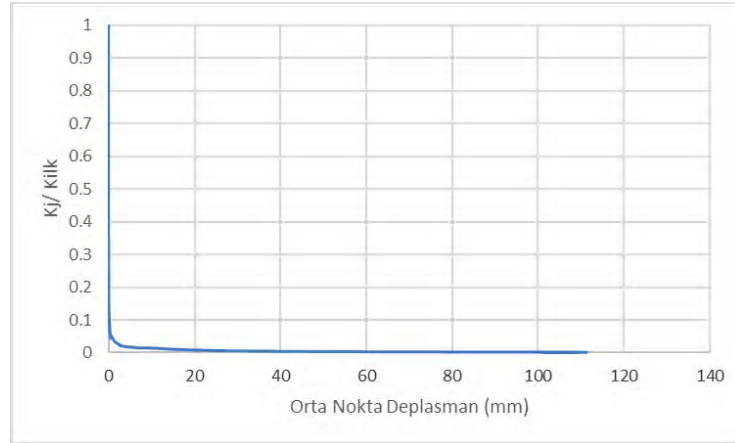
Şekil 3.25. No.4 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 19555 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.26).

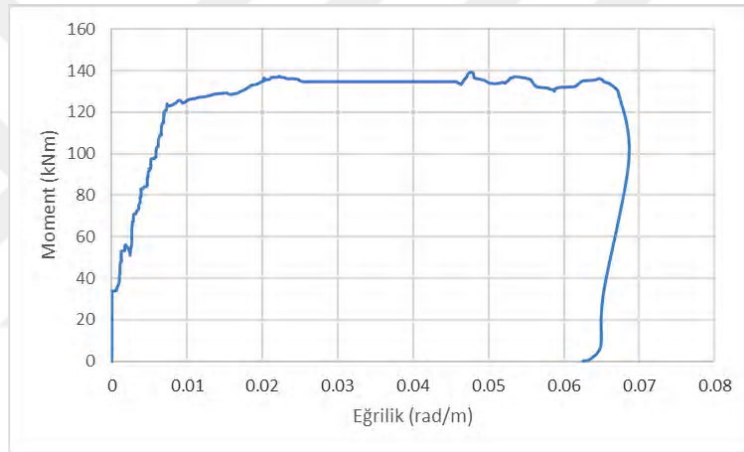


Şekil 3.26. No.4 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.27’de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.28’de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.27. No.4 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.28. No.4 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.5. No.5 Deney Bulguları

Deplasman ölçerler ölçüm düzenine uygun şekilde yerleştirilmiş ve No.5 betonarme kirişinin deneye başlamadan önce yükleme düzeneğindeki hali Şekil 3.29'da verilmiştir.



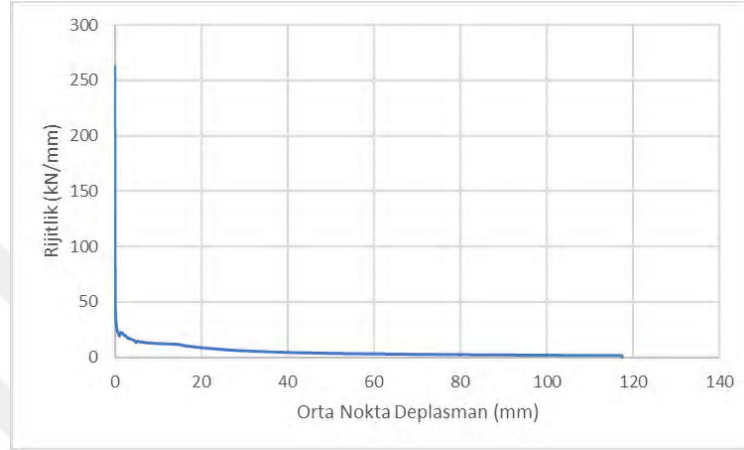
Şekil 3.29. No.5 kirişinin görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 168.75 kN, orta nokta deplasman değeri 14.46 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 191.17 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 115.34 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme devam etmiş ve betonarme kiriş 186.57 kN yük ve 117.55 mm orta nokta deplasman değerine ulaştığı anda çekme donatıları kopmuştur. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



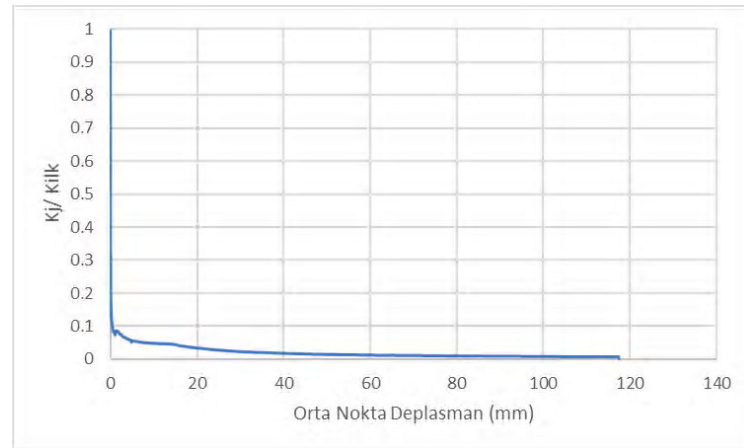
Şekil 3.30. No.5 kirişinin kırılma anı

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 20085 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.33).

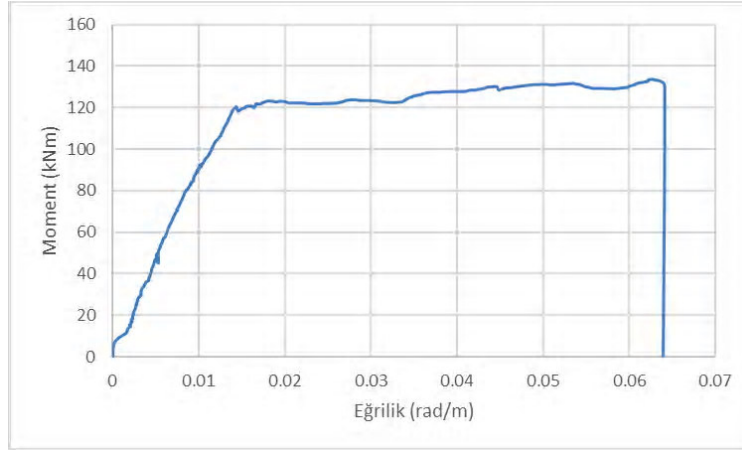


Şekil 3.33. No.5 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.34'de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.35' de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.34. No.5 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.35. No.5 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.6. No.6 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.36. No.6 kirişin görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlakları şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 167.40 kN, orta nokta deplasman değeri 10.99 mm dir. Yükleme devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, önceki çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 198.30 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 35.5 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma

devam etmiş ve 157.33 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 104.99 mm ölçülmüştür. Böylece yüklemeye son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 95.89 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin göçme modü Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



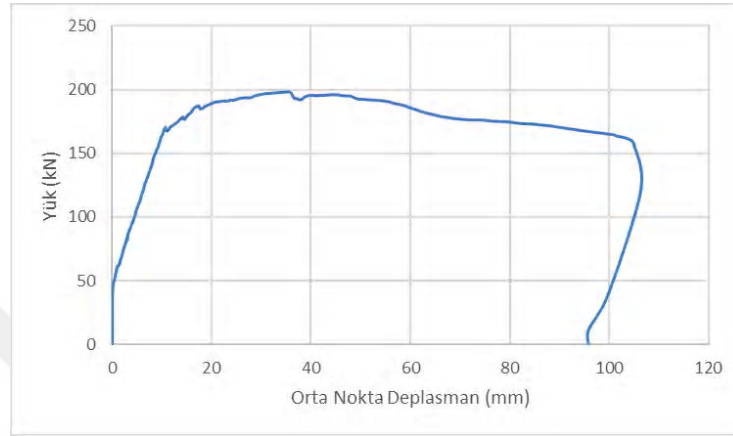
Şekil 3.37. No.6 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.38’de gösterilmiştir.



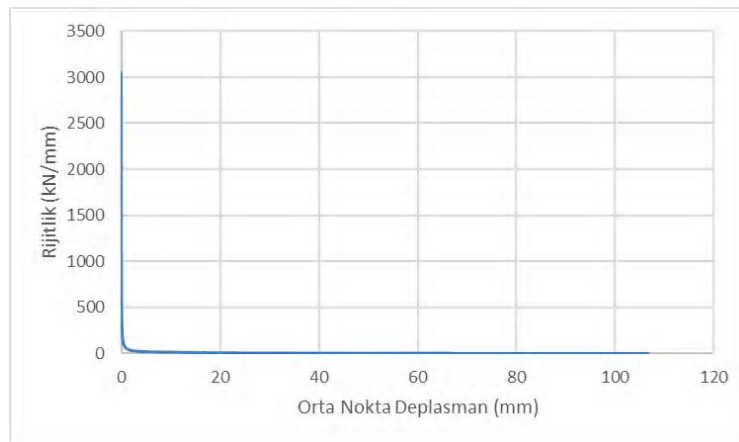
Şekil 3.38. No.6 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.6 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.39'da verilmiştir.



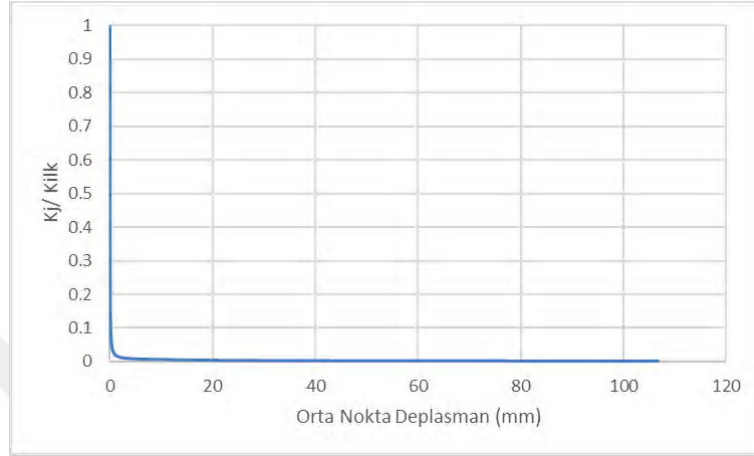
Şekil 3.39. No.6 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 17942 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemede oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.40).

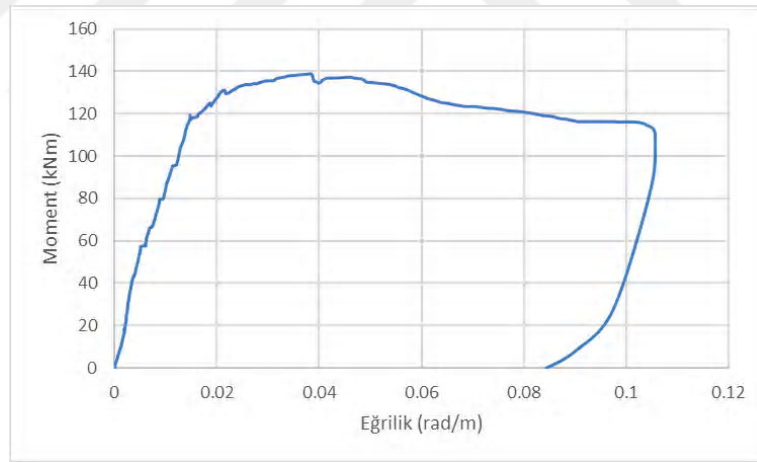


Şekil 3.40. No.6 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup, K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.41’da verilmiştir. Her bir y¼kleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.42’de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.41. No.6 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.42. No.6 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.7. No.7 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin y¼kleme d¼zeneęindeki genel g¼r¼n¼m¼ Şekil 3.43’de verilmiştir.



Şekil 3.43. No.7 kirişinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 183.76 kN, orta nokta deplasman değeri 11.85 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 214.59 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 41.58 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 202.86 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 85.81 mm ölçülmüştür. Böylece yüklemeye son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 80.23 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.44’de gösterilmiştir.



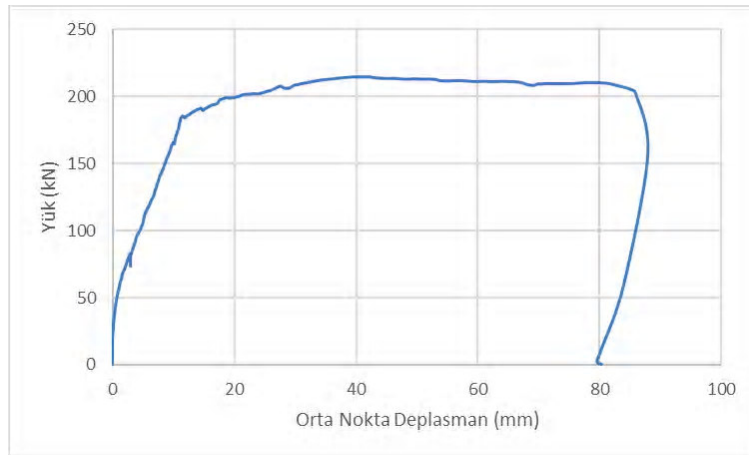
Şekil 3.44. No.7 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.45’de gösterilmiştir.



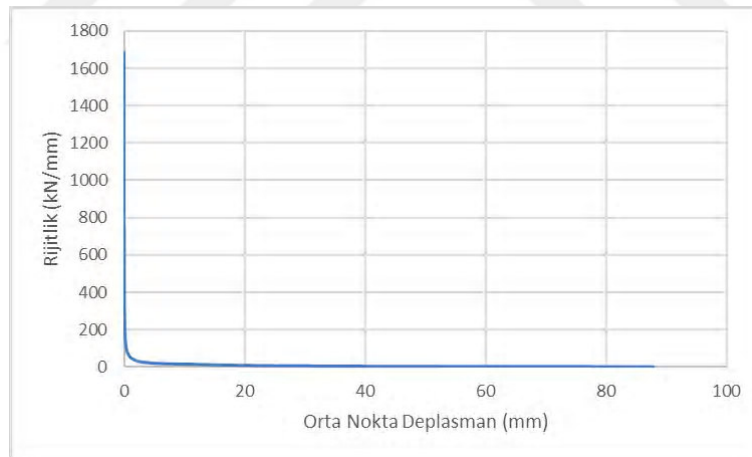
Şekil 3.45. No.7 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.7 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.46’da verilmiştir.



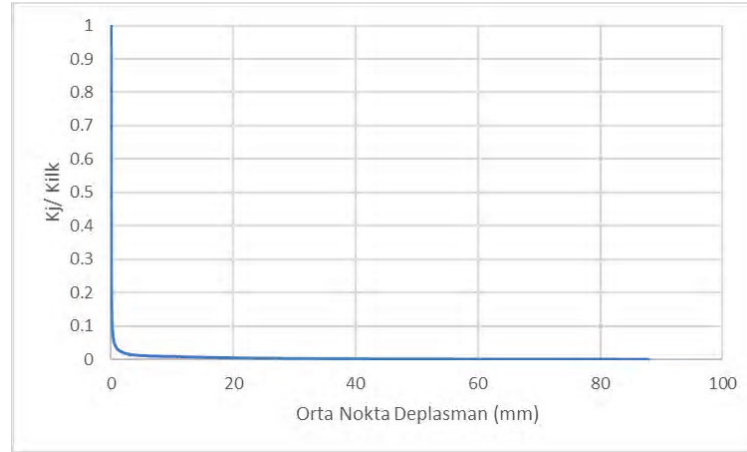
Şekil 3.46. No.7 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 16586 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.47).

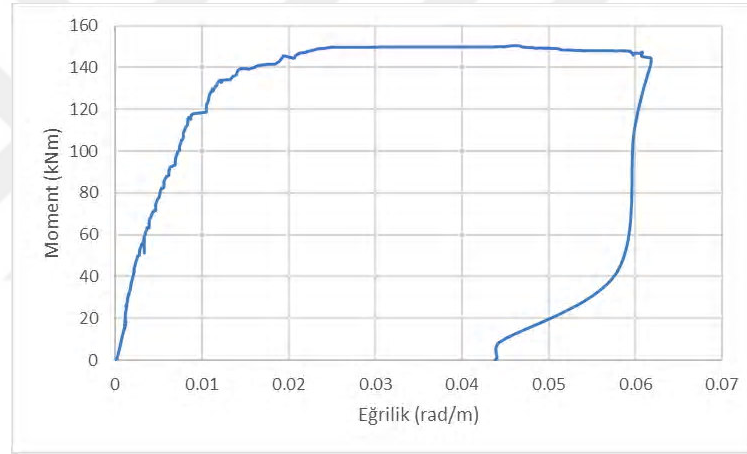


Şekil 3.47. No.7 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.48'de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.49'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.48. No.7 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.49. No.7 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.8. No.8 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.50'de verilmiştir.



Şekil 3.50. No.8 kirişinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlakları şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 161.49 kN, orta nokta deplasman değeri 12.18 mm dir. Yükleme devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 192.42 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 64.02 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 184.84 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 70.18 mm ölçülmüştür. Böylece yükleme son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 67.02 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.51’de gösterilmiştir.



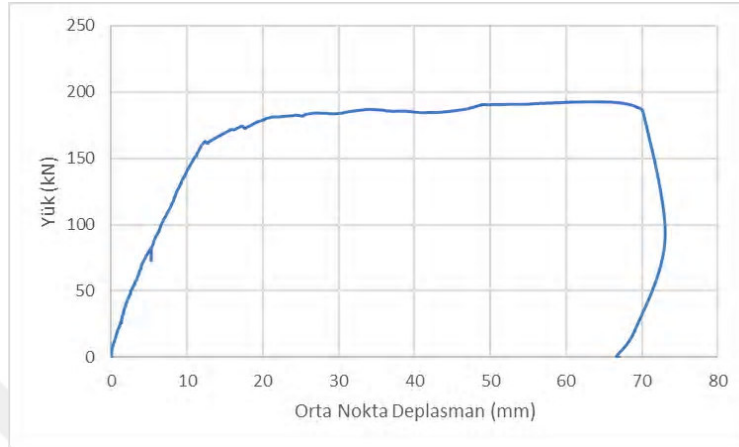
Şekil 3.51. No.8 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.52’de gösterilmiştir.



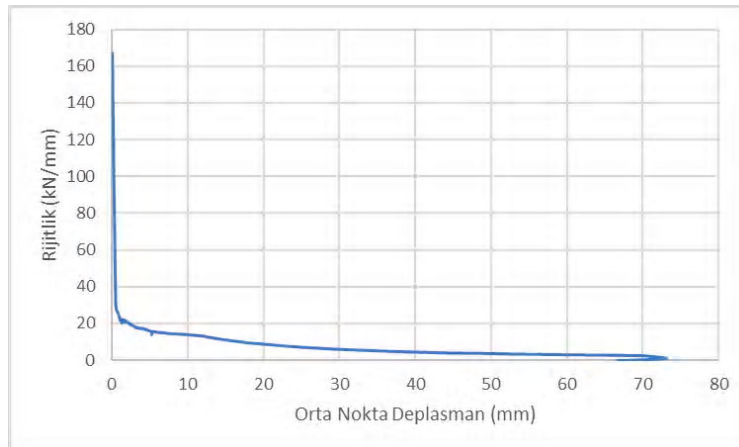
Şekil 3.52. No.8 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.8 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.53’de verilmiştir.



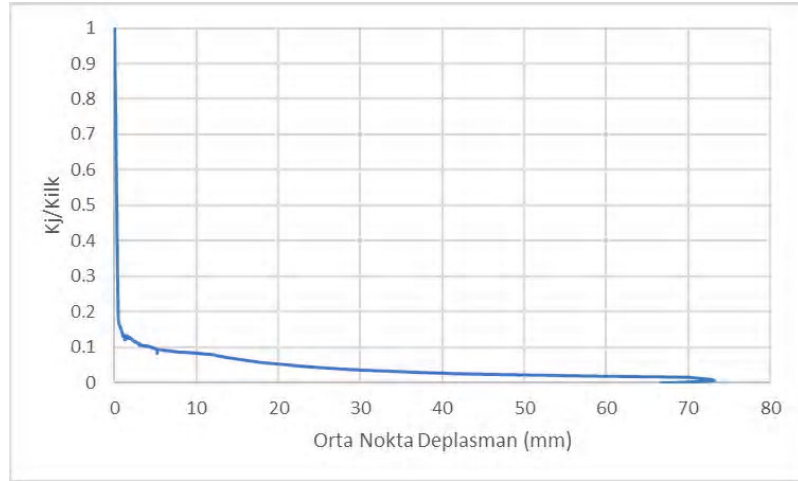
Şekil 3.53. No.8 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 12005 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemede oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.54).

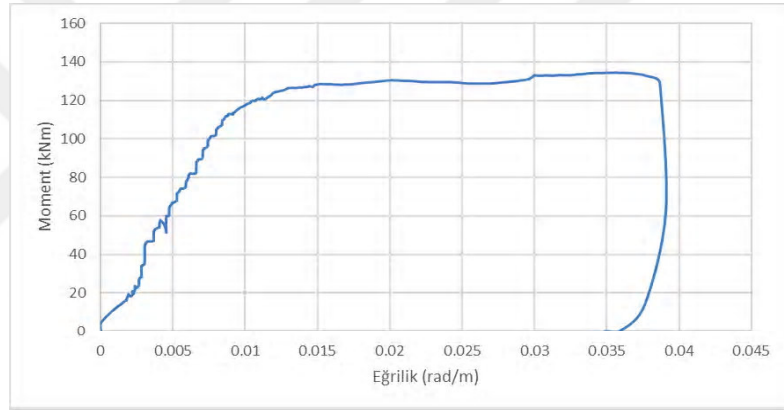


Şekil 3.54. No.8 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.55’de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.56’da moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.55. No.8 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.56. No.8 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.9. No.9 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.57’de verilmiştir.



Şekil 3.57. No.9 kirişinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 175.85 kN, orta nokta deplasman değeri 10.01 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 205.77 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 40.83 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 194.95 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 95.25 mm ölçülmüştür. Böylece yüklemeye son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 89.80 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.58’de gösterilmiştir.



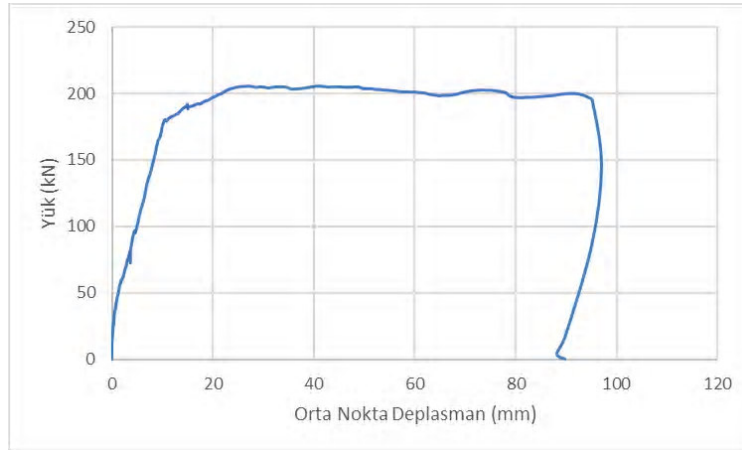
Şekil 3.58. No.9 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.59'da gösterilmiştir.



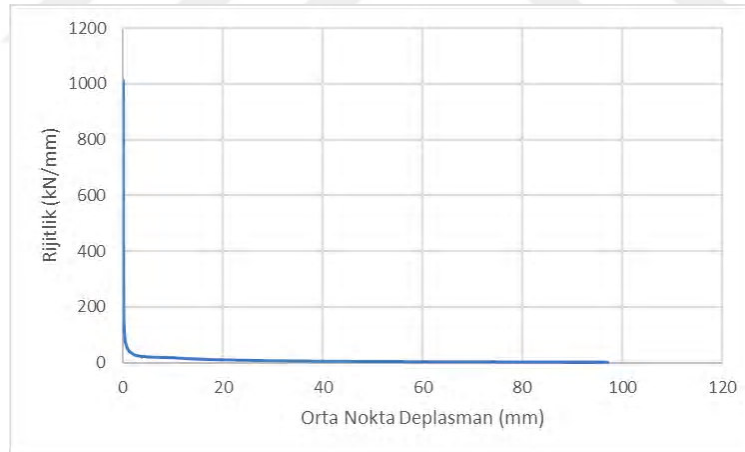
Şekil 3.59. No.9 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.9 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.60'da verilmiştir.



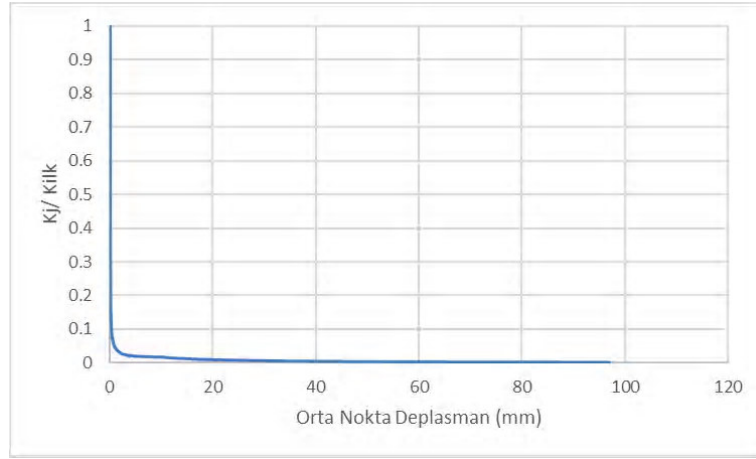
Şekil 3.60. No.9 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 17895 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.61).

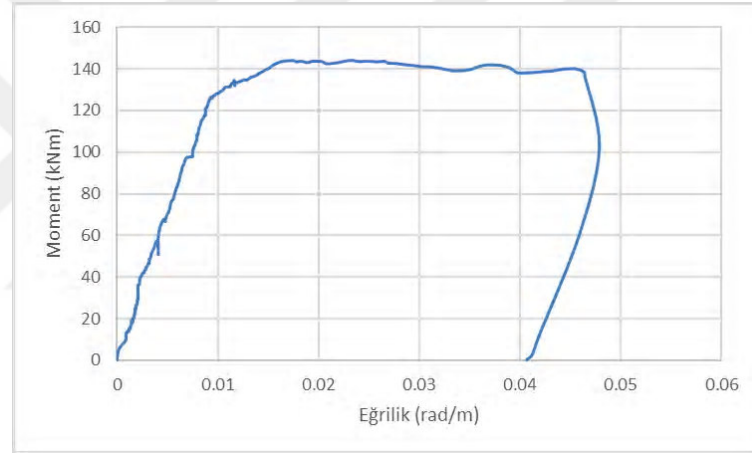


Şekil 3.61. No.9 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.62'de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.63'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.62. No.9 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.63. No.9 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.10. No.10 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.64' de verilmiştir.



Şekil 3.64. No.10 kirişinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 185.28 kN, orta nokta deplasman değeri 9.93 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 213.38 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 34.69 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 141.13 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 71.15 mm ölçülmüştür. Böylece yüklemeye son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 63.78 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.65’de gösterilmiştir.



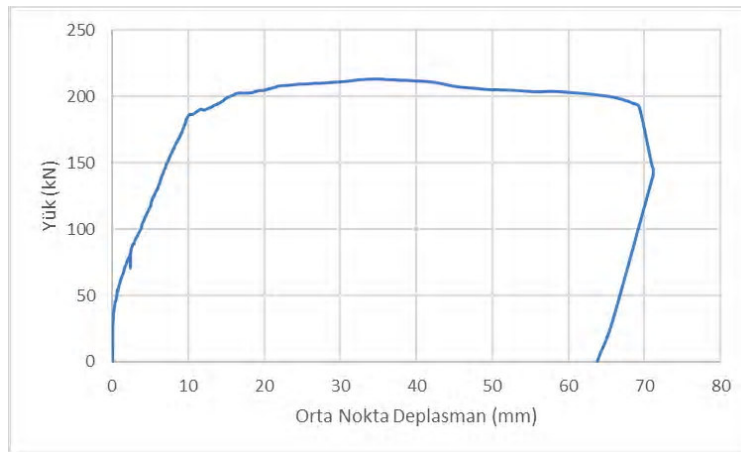
Şekil 3.65. No.10 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.66'de gösterilmiştir.



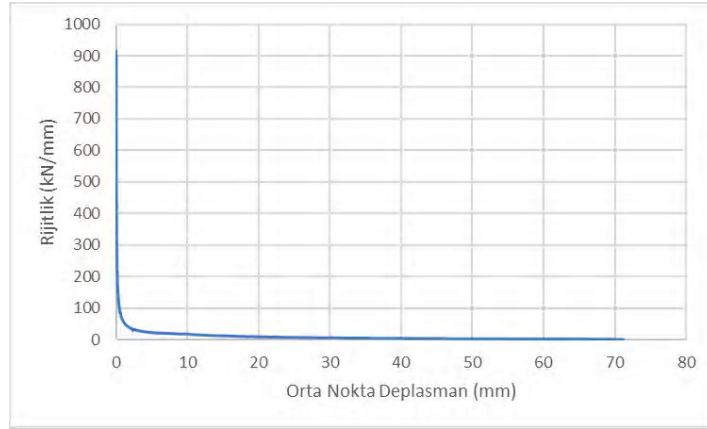
Şekil 3.66. No.10 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.10 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.67'de verilmiştir.



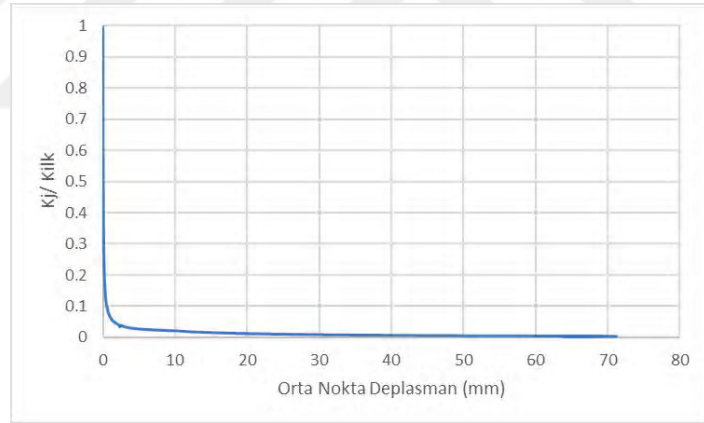
Şekil 3.67. No.10 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 13167 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.68).

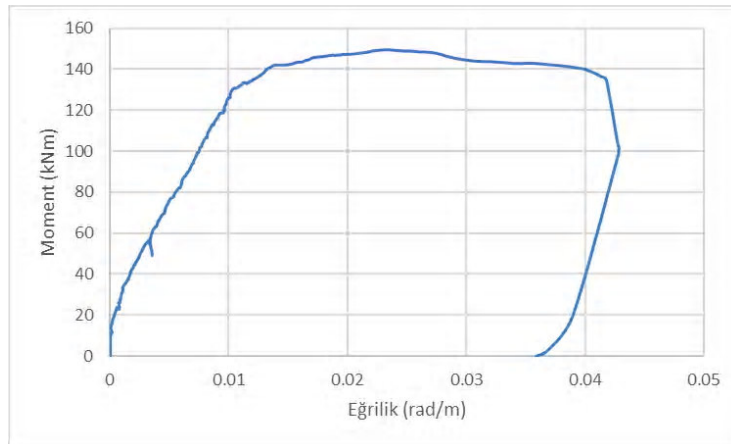


Şekil 3.68. No.10 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.69'da verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.70'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.69. No.10 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.70. No.10 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.11. No.11 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.71’de verilmiştir.



Şekil 3.71. No.11 kirişin görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlakları şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 159.08 kN, orta nokta deplasman değeri 13.28 mm dir. Yükleme devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 179.94 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 22.28 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme devam etmiş ve betonarme kiriş 141.54 kN yük ve 85.78 mm orta nokta deplasman değerine ulaştığı anda çekme donatıları kopmuştur. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.72’de gösterilmiştir.



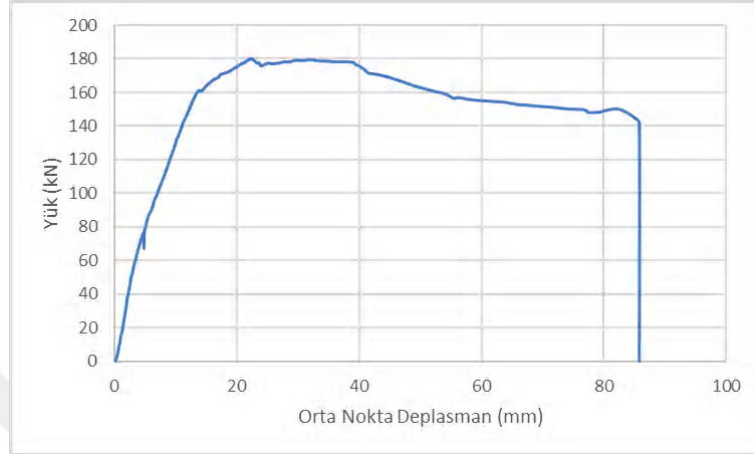
Şekil 3.72. No.11 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.73’de gösterilmiştir.



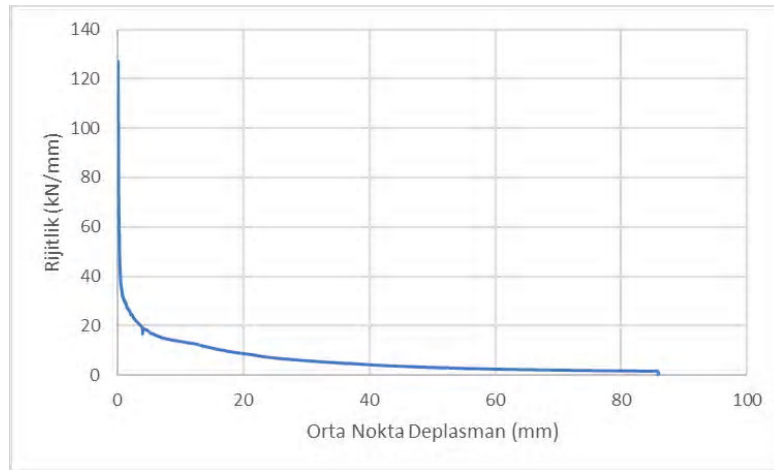
Şekil 3.73. No.11 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.11 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.74’de verilmiştir.



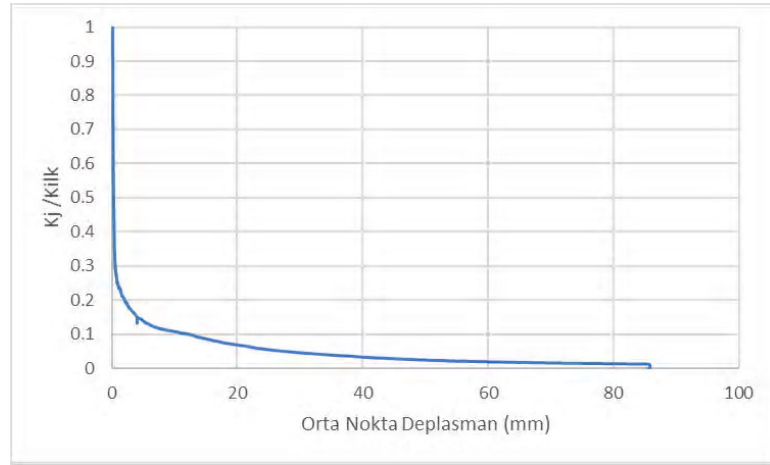
Şekil 3.74. No.11 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 13070 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.75).

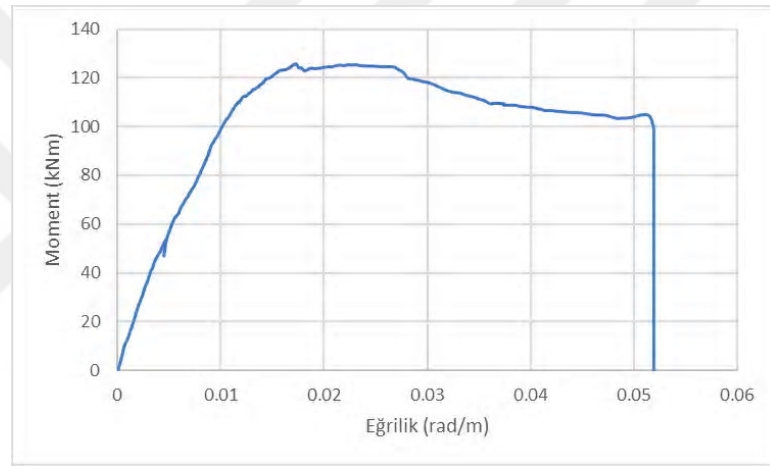


Şekil 3.75. No.11 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.76’da verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.77’de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.76. No.11 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.77. No.11 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.12. No.12 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.78'de verilmiştir.



Şekil 3.78. No.12 kirişin görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 187.48 kN, orta nokta deplasman değeri 12.60 mm dir. Yükleme devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 210.60 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 34.53 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 150.40 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 53.65 mm ölçülmüştür. Böylece yükleme son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 45.67 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.79'da gösterilmiştir.



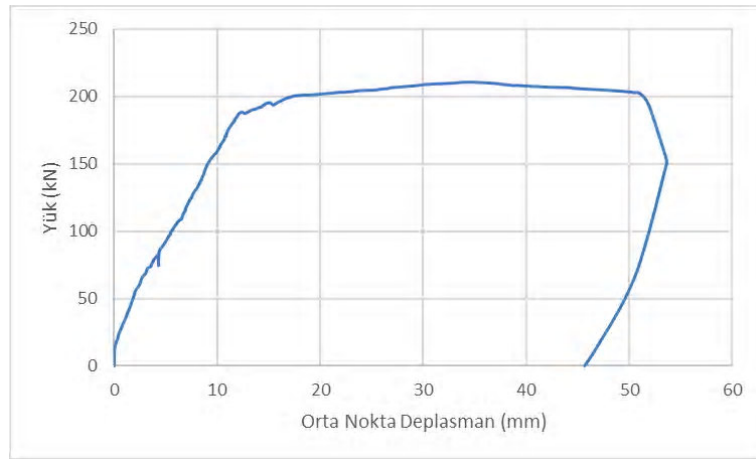
Şekil 3.79. No.12 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.80’de gösterilmiştir.



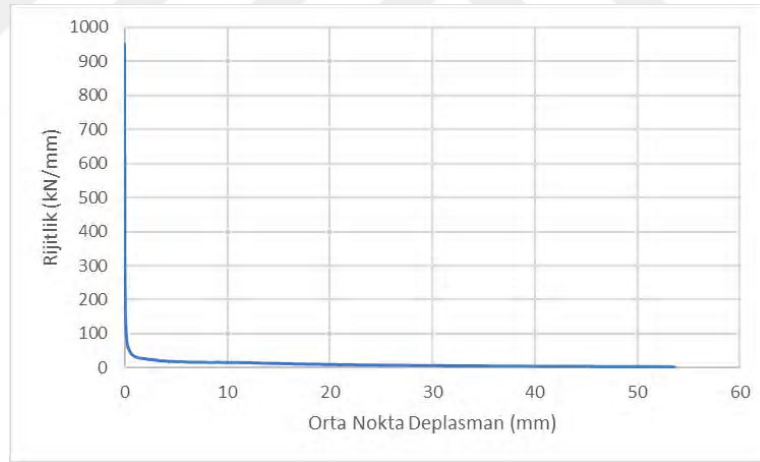
Şekil 3.80. No.12 kirişi hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.12 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.81’de verilmiştir.



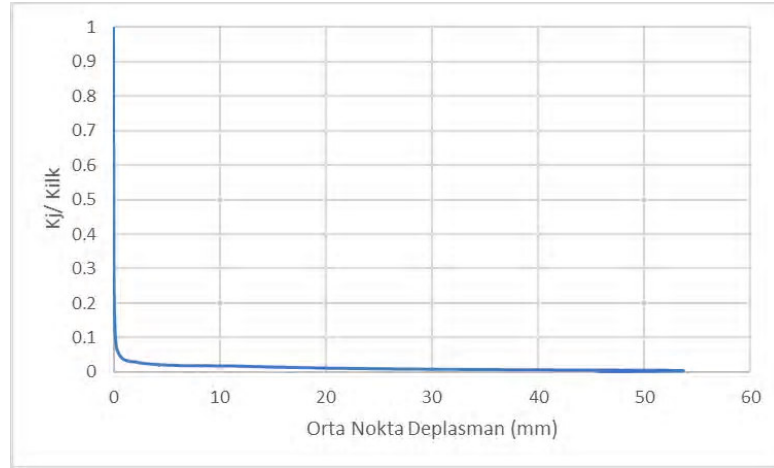
Şekil 3.81. No.12 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 9227 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemede oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.82).

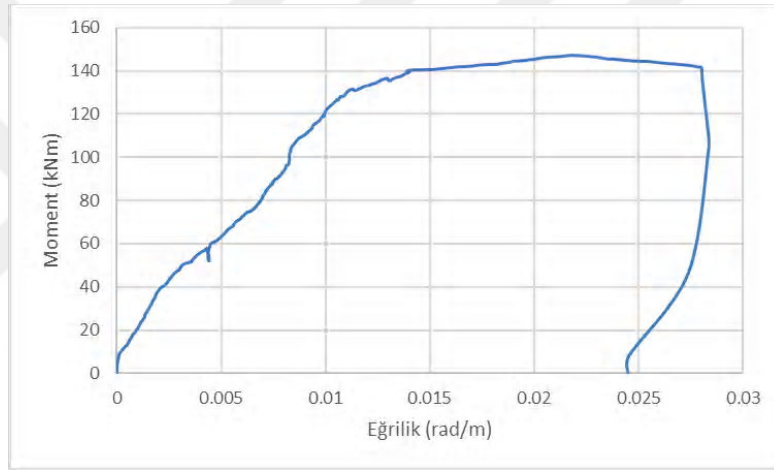


Şekil 3.82. No.12 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.83'de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.84'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.83. No.12 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.84. No.12 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.13. No.13 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.85'de verilmiştir.



Şekil 3.85. No.13 kirişinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yüklemeye noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 153.95 kN, orta nokta deplasman değeri 11.09 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 204.45 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 86.50 mm olarak ölçülmüştür. Yüklemeye devam etmiş ve betonarme kiriş 120.58 kN yük ve 107.77 mm orta nokta deplasman değerine ulaştığı anda çekme donatıları kopmuştur. Betonarme kirişte çekme donatılarının orta bölgede kopmasıyla birlikte göçme gerçekleşmiş ve kalıcı deplasman değeri ölçülememiştir. Böylece yüklemeye son verilmiştir. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.86’da gösterilmiştir.



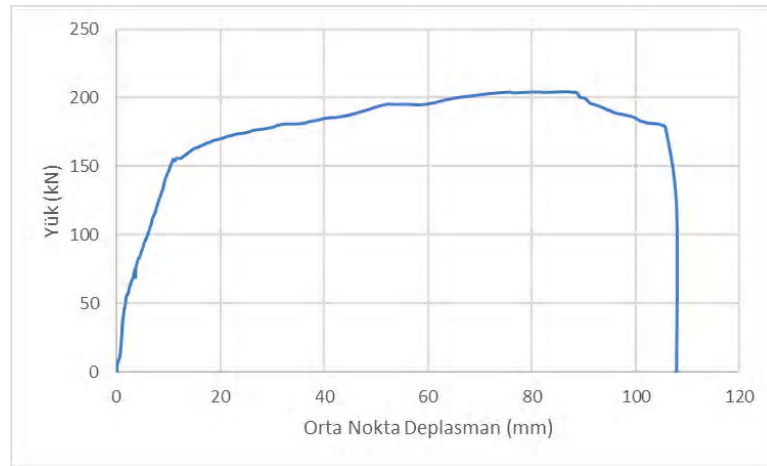
Şekil 3.86. No.13 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.87’de gösterilmiştir.



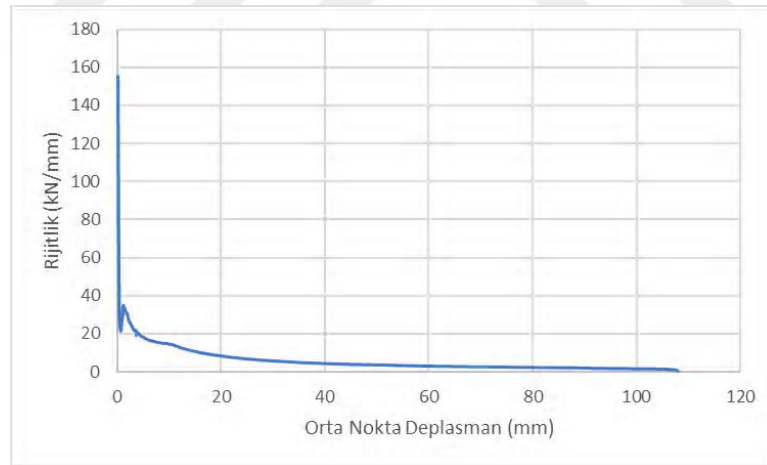
Şekil 3.87. No.13 kirişinin hasar oluşumu

Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.13 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.88’de verilmiştir.



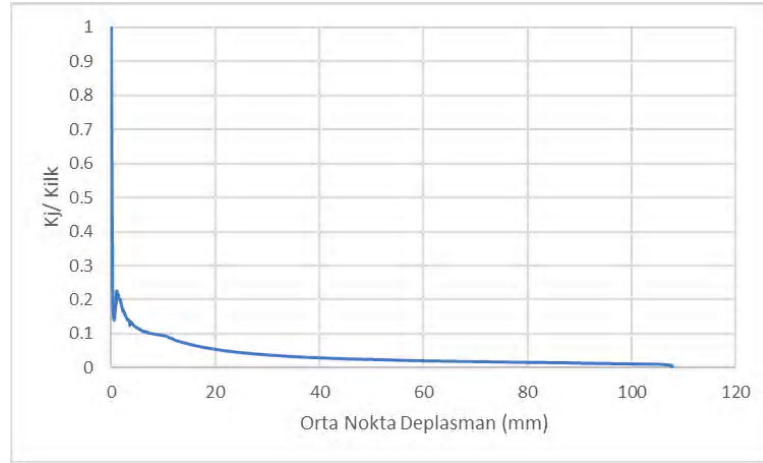
Şekil 3.88. No.13 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi 19220 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir (Şekil 3.89).

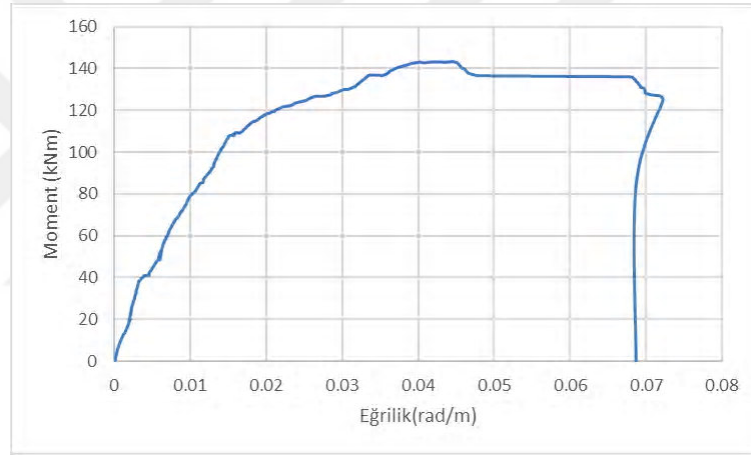


Şekil 3.89. No.13 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.90'da verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.91'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.90. No.13 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.91. No.13 kirişi moment-eğrilik grafiği

3.1.14. No.14 Deney Bulguları

Betonarme kirişinin yükleme düzeneğindeki genel görünümü Şekil 3.92'de verilmiştir.



Şekil 3.92. No.14 kirişinin deney öncesi görünümü

Betonarme kirişe yük uygulanmaya başlanılmış ve ilk çatlaklar eğilme çatlağı şeklinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Yük değerinin artmasıyla birlikte çatlakların boyu uzamıştır. Betonarme kiriş akma konumuna ulaştığı andaki yük değeri 153.84 kN, orta nokta deplasman değeri 9.77 mm dir. Yüklemeye devam edilmesiyle eğilme çatlaklarının sayısı, eski çatlakların uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmıştır. Betonarme kirişe maksimum 205.97 kN yük uygulanmış ve orta nokta deplasman değeri 50.58 mm olarak ölçülmüştür. Betonarme kiriş maksimum yüke ulaştıktan sonra akma devam etmiş ve 179 kN yükte çekme donatıları kopmuştur. Çekme donatılarının koptuğu anda orta nokta deplasman değeri 65.49 mm ölçülmüştür. Böylece yüklemeye son verilmiştir. Deney numunesinin kalıcı deplasmanı 55.81 mm ölçülmüştür. Betonarme kirişin kırılma anı Şekil 3.93’de gösterilmiştir.



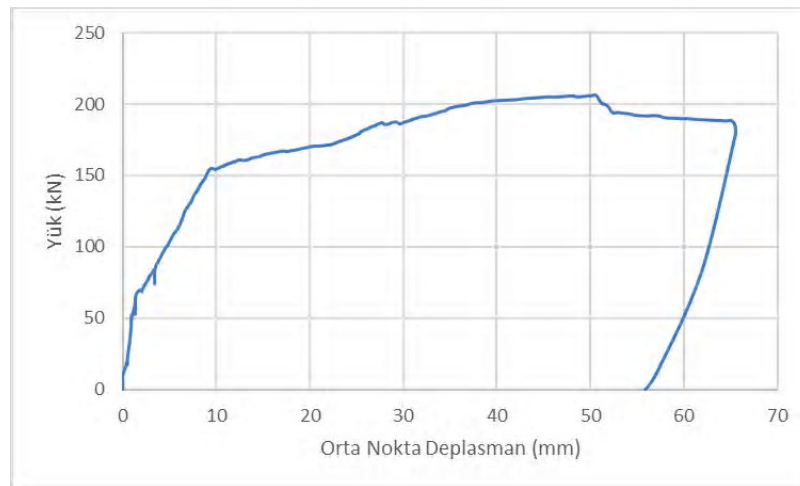
Şekil 3.93. No.14 kirişinin kırılma anı

Betonarme kirişin kırılmasıyla oluşan hasarlar Şekil 3.94’de gösterilmiştir.



Şekil 3.94. No.14 kirişinin hasar oluşumu

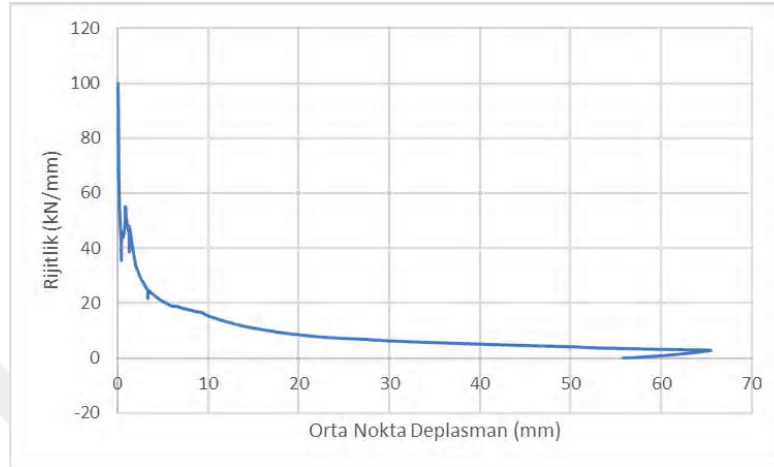
Deney sırasında deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla her bir numunenin davranış farklılıklarını belirlemek için grafikler çizilmiştir. No.14 kirişinin yük-orta nokta deplasman grafiği Şekil 3.95’de verilmiştir.



Şekil 3.95. No.14 kirişi yük-orta nokta deplasman grafiği

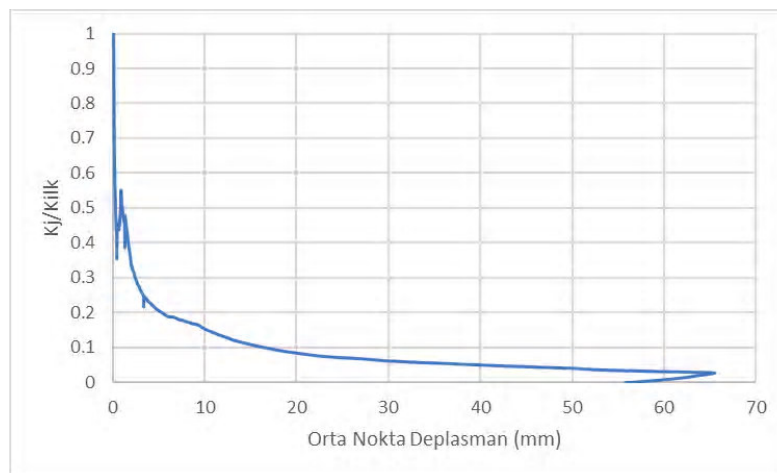
Yük-orta nokta deplasman grafiğinin altında kalan alan deney numunesine ait toplam tüketilen enerji miktarını vermektedir. Kirişin yük etkisindeki enerji tüketimi

10702 kN.mm olarak hesaplanmıştır. Her bir yüklemde oluşan yükün, o yükteki deplasman değerine oranı rijitlik değerini vermektedir ve Şekil 3.96'da rijitlik grafiği verilmiştir.

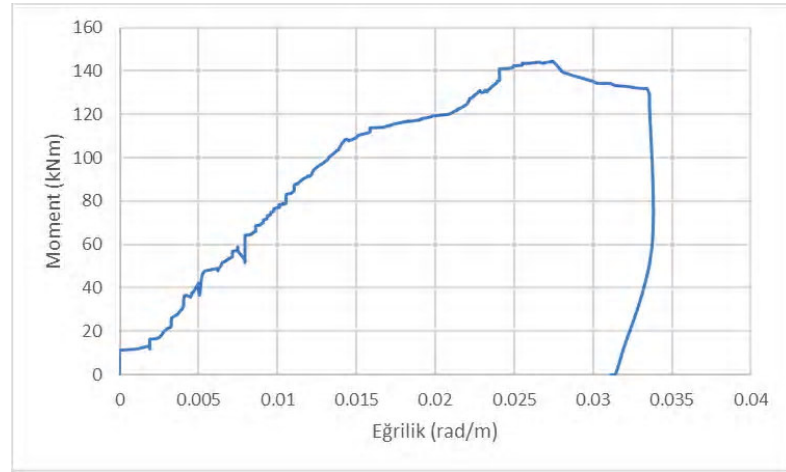


Şekil 3.96. No.14 kirişi rijitlik grafiği

Rijitlik değerlerinin ilk rijitlik değerine oranı da K_j/K_{ilk} değerlerini vermekte olup K_j/K_{ilk} grafiği Şekil 3.97'de verilmiştir. Her bir yükleme için moment ve eğrilik değerleri bulunarak Şekil 3.98'de moment-eğrilik grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.97. No.14 kirişi K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 3.98. No.14 kirişi moment-eğrilik grafiği

4.BÖLÜM

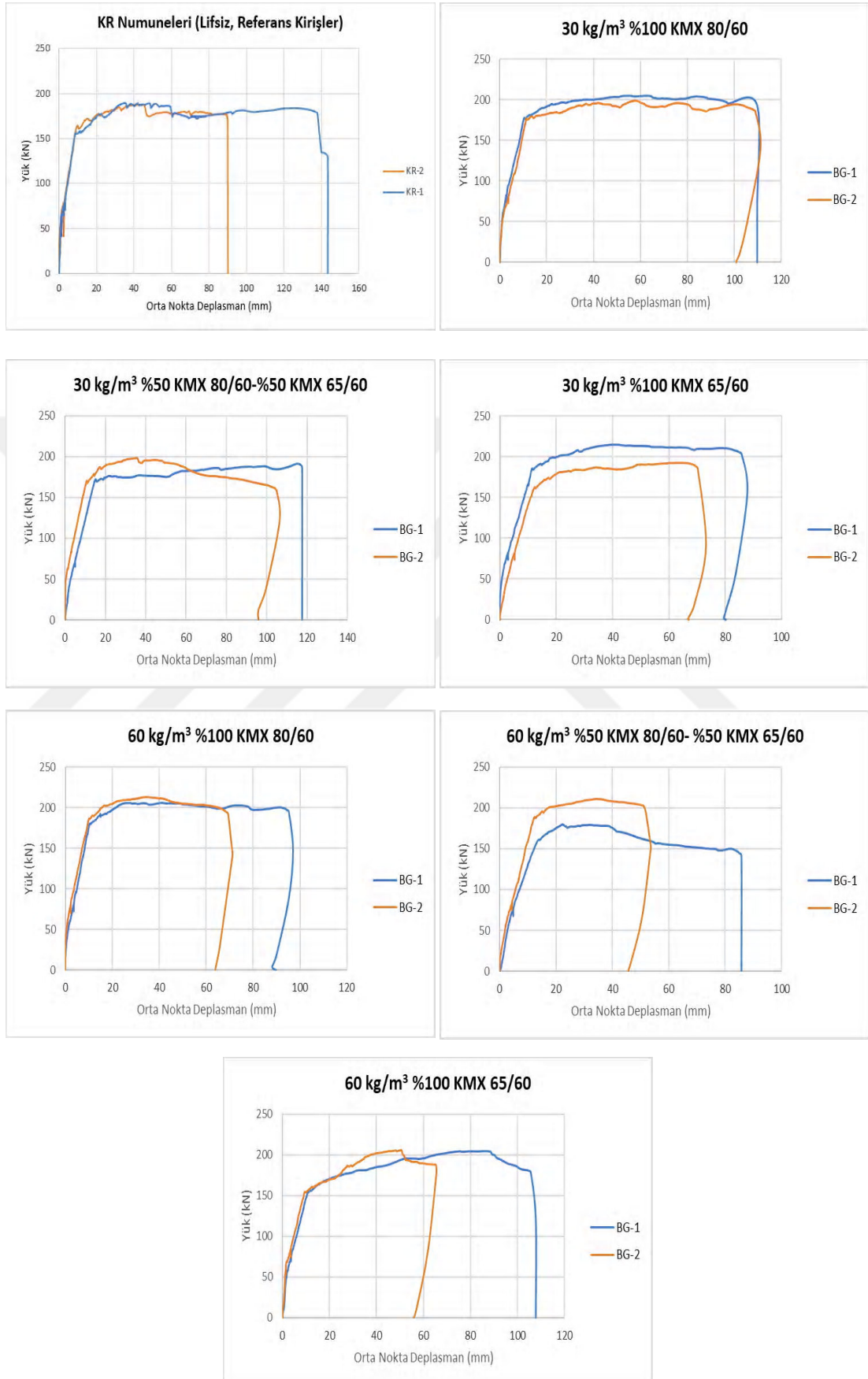
BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Deney Bulgularının Karşılaştırılması

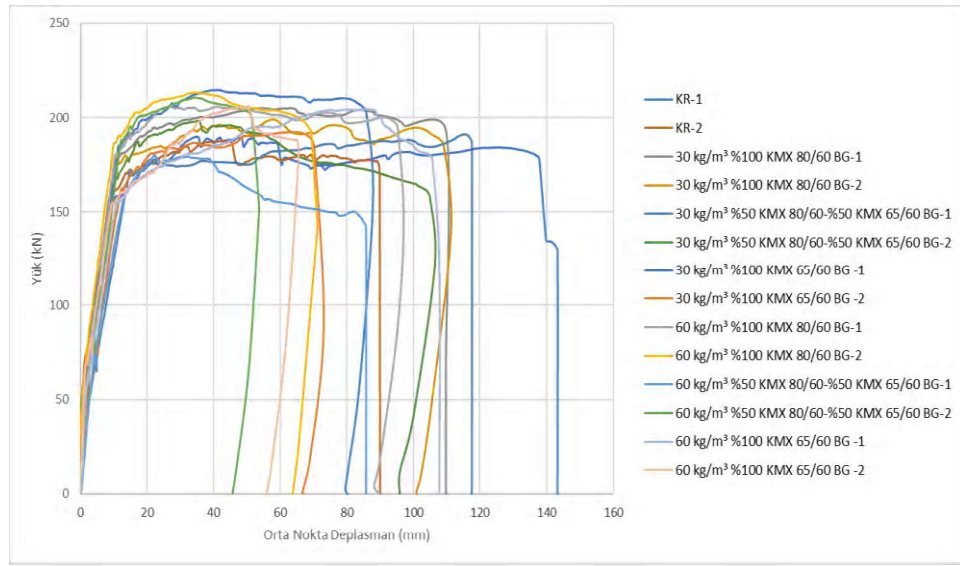
Bu bölümde betonarme kirişlerin yük-orta nokta deplasman grafikleri, enerji tüketimleri, moment-eğrilik grafikleri ve rijitlik-orta nokta deplasman grafikleri karşılaştırılmıştır.

4.1.1. Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması

Betonarme kirişlerin yük-orta nokta deplasman grafiklerinin daha iyi karşılaştırılması amacıyla aynı tip deney numuneleri (Şekil 4.1) ve tüm deney numuneleri (Şekil 4.2) grafik olarak çizilmiştir. Ayrıca deney numunelerine ait ortalama yük, deplasman ve süneklik değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Süneklik değerleri, numunelerin göçme anındaki deplasman değerlerinin akma anındaki deplasman değerlerine oranı şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. Aynı tip numunelerin yük-orta nokta deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.2. Tüm numunelerin yük-orta nokta deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

Tablo 4.1. Numunelerin ortalama yük, deplasman ve süneklik değerleri

Numune Adı (Kodu)	Akma Noktasında		Maksimum (Deneysel kırılma)		Teorik Kırılma	Deneysel Yük/ Teorik Yük	Süneklik $\mu_{\delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y}$
	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Yük (kN)		
KR (No.1-2)	159.83	9.65	188.7	116.57	132.0	1.43	12.08
30 kg/m ³ %100 KMX 80/60 (No.3-4)	175.92	11.05	202.03	109.42	132.43	1.52	9.9
30 kg/m ³ %50 KMX 80/60-%50 KMX 65/60 (No.5-6)	168.07	12.72	194.73	111.27	131.15	1.48	8.74
30 kg/m ³ %100 KMX 65/60 (No.7-8)	172.62	12.01	203.5	78	132.58	1.53	6.49
60 kg/m ³ %100 KMX 80/60 (No.9-10)	180.56	9.97	209.57	83,2	130.75	1.60	8,34
60 kg/m ³ %50 KMX 80/60-%50 KMX 65/60 (No.11-12)	173.28	12.94	195.27	69.71	131.58	1.48	5.38
60 kg/m ³ %100 KMX 65/60 (No.13-14)	153.89	10.43	205.21	86.63	131.06	1.56	8.30

Tablo 4.1’de verilen ortalama değerler incelendiğinde, maksimum deplasmanın 116.57 mm değeri ile referans (lifsiz) numunelerde olduğu görülmektedir. 30 kg/m³ elik lif dozajına sahip No.3-4, No.5-6 ve No.7-8 kodlu numunelerinde referans kirişe göre sırasıyla yaklaşık %6, %5 ve %33 oranında azalma olmuştur. 60 kg/m³ elik lif dozajına sahip No.9-10, No.11-12 ve No.13-14 kodlu numunelerde ise referans kirişe göre sırasıyla yaklaşık %28, %40 ve %25 oranlarında azalmalar olmuştur. elik lif katkısı deplasman değerinde azalmaya sebep olmuştur.

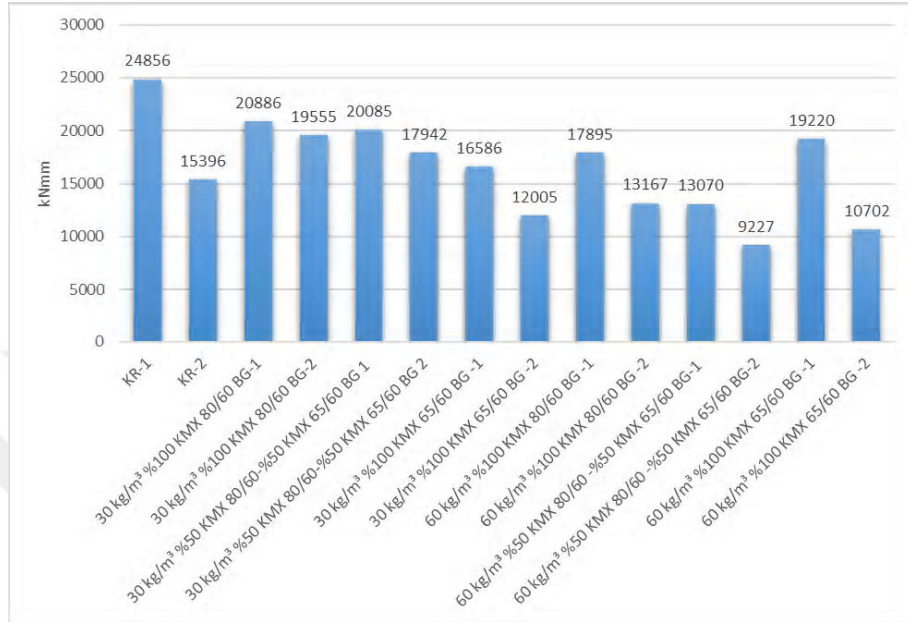
Kirişlerin yük taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında, tüm numunelerin yük taşıma kapasiteleri teorik hesaplamalara göre yaklaşık %50 daha fazla olduğu görülmektedir. En az artış oranı %43 ile No.1-2 referans numunesine aittir. No.3-4 numunesi teorik hesaplamalara göre %52 daha fazla, No.5-6 ve No.11-12 numuneleri %48 daha fazla, No.7-8 numunesi %53 daha fazla, No.9-10 numunesi %60 daha fazla, No.13-14 numunesi %56 daha fazla çıkmıştır. elik lif katkısı betonarme kirişin dayanımını teorik değere göre artırmıŐtır. Ancak burada önemli olan deneysel olarak referans kirişin yük taşıma kapasitesi ile elik lifli kirişlerin yük taşıma kapasitelerinin karŐılaŐtırılmasıdır.

Kirişlerin taşıma gücü değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, tüm numunelerin yaklaşık olarak 200 kN taşıma gücü kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. En az taşıma gücü 188.7 kN ile referans kirişe aittir. Taşıma gücü referans kirişlere göre, No.3-4 numunelerinde %7 daha fazla, No.5-6 numunelerinde %3 daha fazla, No.7-8 numunelerinde yaklaşık %8 daha fazla, No.9-10 numunelerinde %11 daha fazla, No.11-12 numunelerinde %3 daha fazla, No.13-14 numunelerinde yaklaşık %9 daha fazla çıkmıştır. Benzer özellikteki betonarme kirişlerde elik lif katkısı taşıma gücünü çok artırmamıştır.

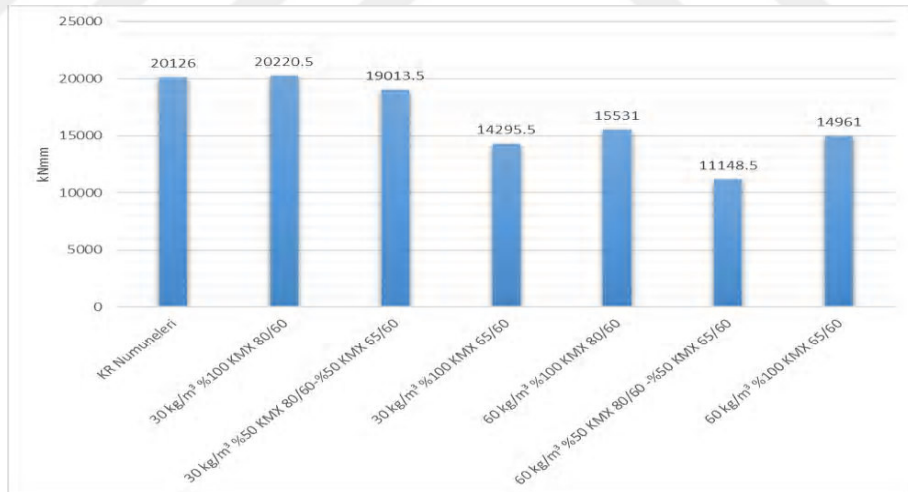
Süneklilik değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek süneklilik değerine sahip kiriş referans (lifsiz) numune olmuştur. 30 kg/m³ elik lif dozajına sahip No.3-4, No.5-6 ve No.7-8 kodlu numunelerinde referans kirişe göre sırasıyla yaklaşık %18, %27 ve %46 oranında azalma olmuştur. 60 kg/m³ elik lif dozajına sahip No.9-10, No.11-12 ve No.13-14 kodlu numunelerde ise referans kirişe göre sırasıyla yaklaşık %31, %55 ve %31 oranlarında azalmalar olmuştur. elik lif katkısı süneklilik değerinde azalmaya sebep olmuştur.

4.1.2. Toplam Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması

Her bir deney numunesi için toplam enerji tüketim grafiği Şekil 4.3'de, her tip deney numunesi için ortalama enerji tüketim grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Tüm numunelerin enerji tüketim kapasiteleri



Şekil 4.4. Deney numunelerinin ortalama enerji tüketim kapasiteleri

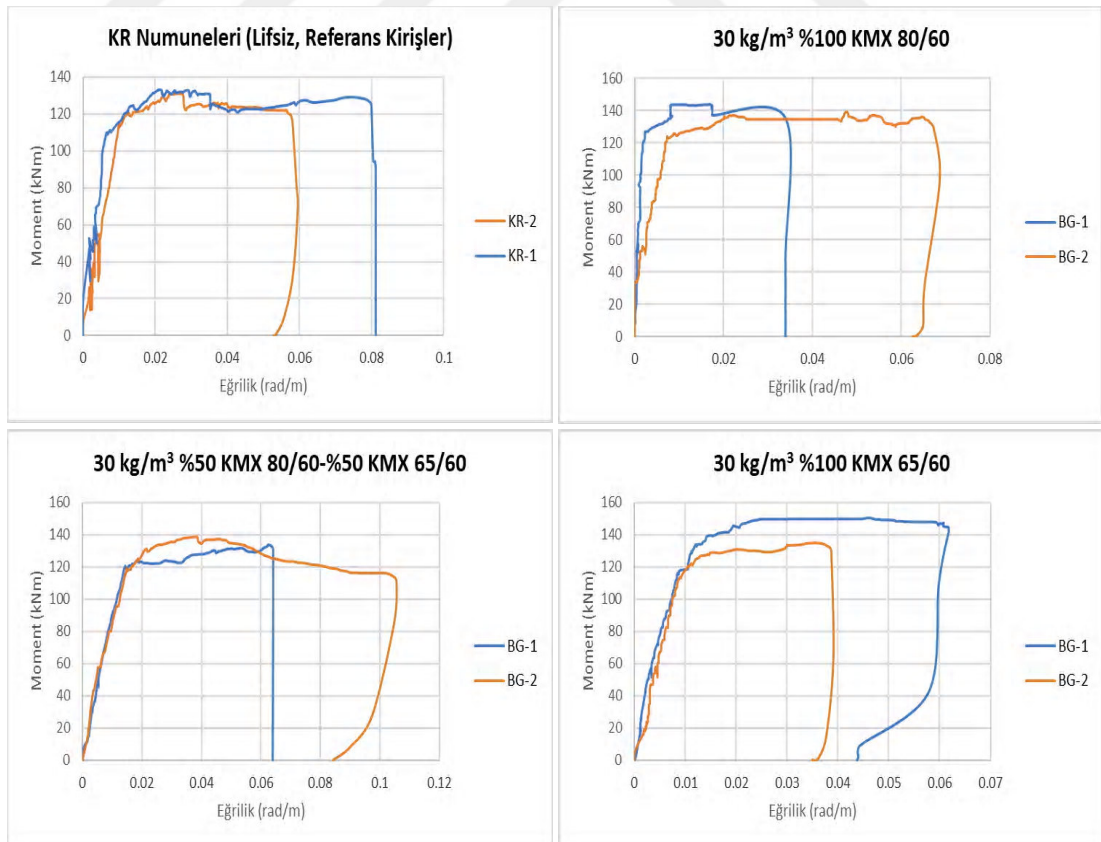
Şekil 4.3. incelendiğinde en fazla enerji tüketiminin KR-1 (No.1) numunesinde olduğu görülmektedir. KR-2 (No.2) numunesindeki enerji tüketim değerinin KR-1 (No.1) numunesine göre oldukça düşük olmasının nedeni, KR-2 (No.2) numunesinde potansiyometrik cetvelin belirli bir deplasman değerinde sıkışmış olmasıdır. Bu sebeple

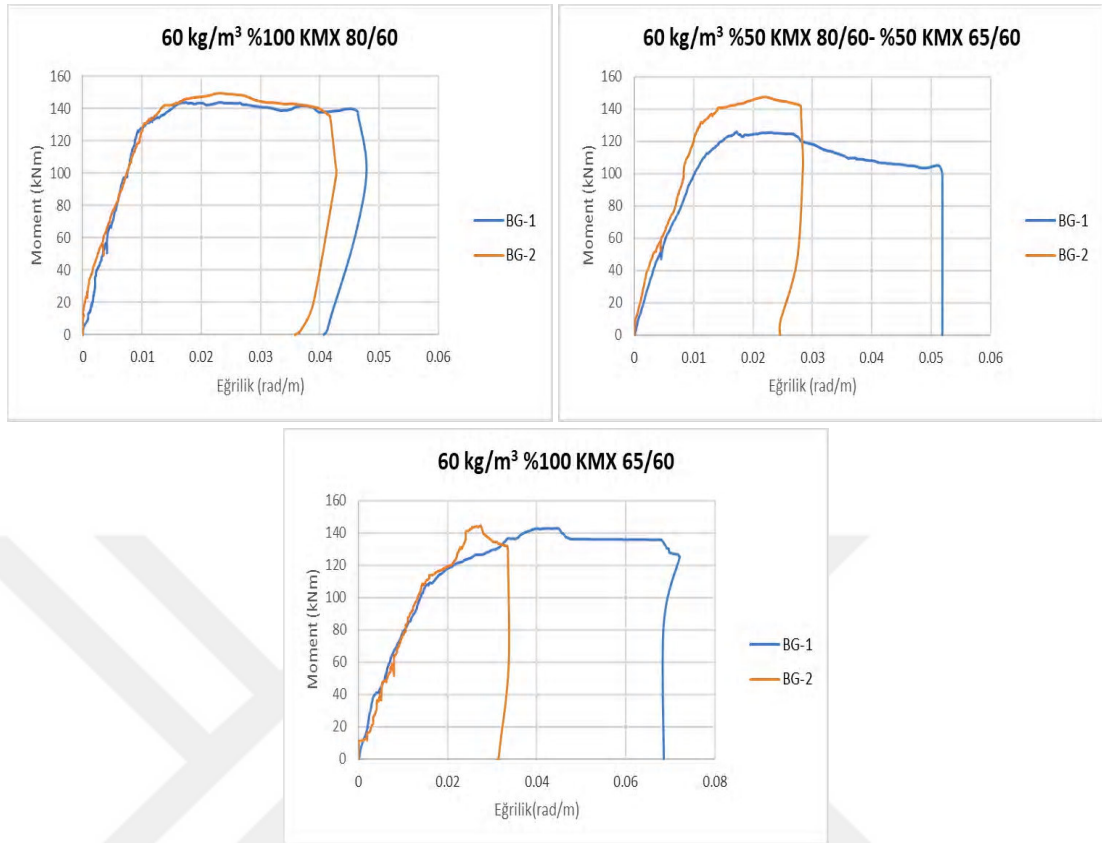
Şekil 4.4’de görünen en fazla ortalama enerji tüketim kapasitesinin referans kirişlerde olacağı düşünülmektedir.

Genel olarak enerji tüketim değerleri karşılaştırıldığında en fazla enerji tüketim değerinin KR-1 (No.1) numunesinde, 30 kg/m^3 lif dozajına sahip kirişlerin yaklaşık olarak birbirlerine yakın ve KR-1 (No.1) numunesinin enerji tüketim değerine yaklaştığı görülmüştür. 60 kg/m^3 lif dozajındaki kirişler ise yaklaşık olarak birbirlerine yakın ve en az enerji tüketim değerine sahiptirler. Bunun nedeni olarak, betonarme kirişte boyuna donatı oranının minimuma yakın seçilmesinin olacağı düşünülmektedir. Çünkü betonarme davranışta esas olan boyuna donatı oranının yani kafes sistemin taşıyıcılığıdır.

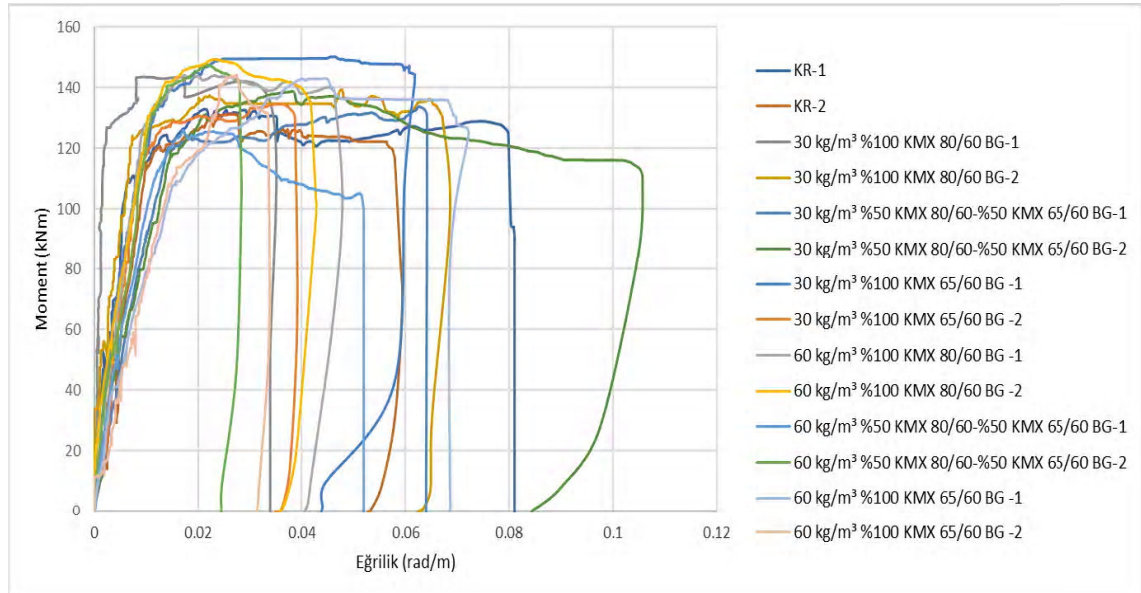
4.1.3. Moment-Eğrilik Grafiklerinin Karşılaştırılması

Betonarme kirişlerin moment-eğrilik grafiklerinin daha iyi karşılaştırılması amacıyla aynı tip deney numuneleri (Şekil 4.5) ve tüm deney numuneleri (Şekil 4.6) için grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca deney numunelerine ait ortalama değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.





Şekil 4.5. Aynı tip numunelerin moment-eğrilik grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.6. Tüm numunelerin moment-eğrilik grafiklerinin karşılaştırılması

Tablo 4.2. Deney numunelerinin moment-eğrilik değerlerinin karşılaştırılması

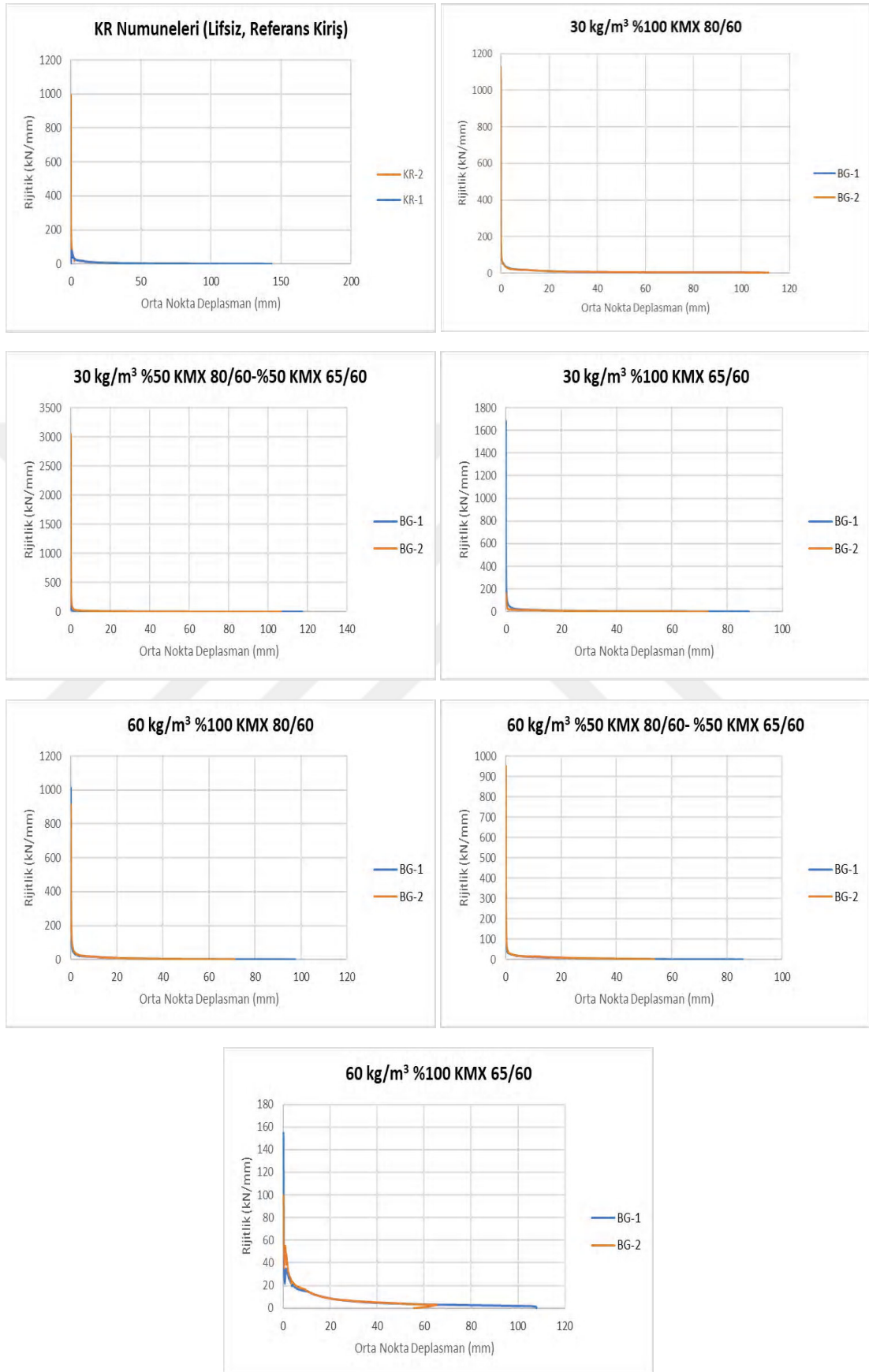
Numune Adı (Kodu)	Akma Noktasında		Maksimum Yükte	
	Moment (kNm)	Eğrilik (rad/m)	Moment (kNm)	Eğrilik (rad/m)
KR (No.1-2)	111.88	0.00844	132.09	0.02385
30 kg/m ³ %100 KMX 80/60 (No.3-4)	123.14	0.00501	141.42	0.02870
30 kg/m ³ %50 KMX 80/60- %50 KMX 65/60 (No.5-6)	117.65	0.01435	136.31	0.05047
30 kg/m ³ %100 KMX 65/60 (No.7-8)	120.83	0.01015	142.45	0.04097
60 kg/m ³ %100 KMX 80/60 (No.9-10)	126.40	0.00962	146.70	0.02031
60 kg/m ³ %50 KMX 80/60- %50 KMX 65/60 (No.11-12)	121.30	0.01166	136.69	0.01954
60 kg/m ³ %100 KMX 65/60 (No.13-14)	107.72	0.01508	143.64	0.03597

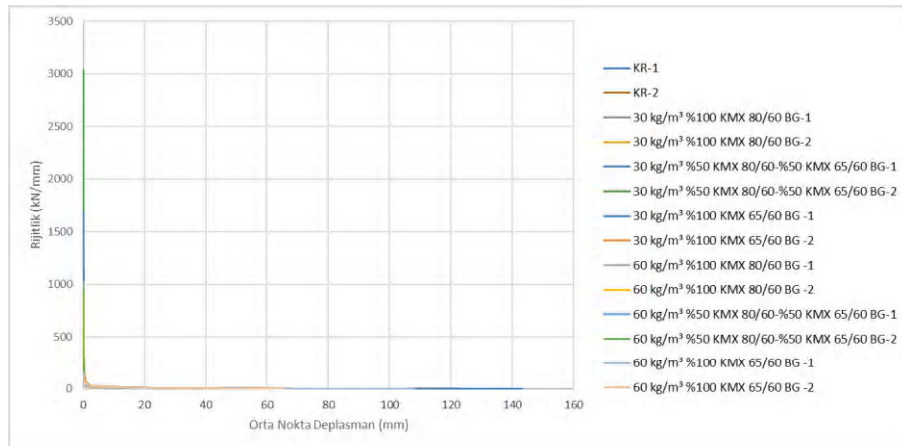
Tablo 4.2’de maksimum yük için moment değerleri karşılaştırıldığında, KR (No.1-2) numunelerine göre 30 kg/m³ lif dozajına sahip kirişlerden No.3-4, No.5-6 ve No.7-8 numunelerinde sırasıyla yaklaşık %7, %3 ve %8 artış gözlemlenmiştir. 60 kg/m³ lif dozajına sahip kirişlerden No.9-10, No.11-12 ve No.13-14 numunelerinde ise sırasıyla yaklaşık %11, %3 ve %9 artış gözlemlenmiştir.

Eğrilik değerlerinde ise referans kirişe göre, No.3-4, No.5-6 ve No.7-8 numunelerinde sırasıyla yaklaşık %20, %111 ve %72 artış görülmüştür. No.9-10 ve No.11-12 numunelerinde sırasıyla %15 ve %18 azalma olmuştur. No.13-14 numunesinde ise yaklaşık %50 artış gözlemlenmiştir.

4.1.4. Rijitlik-Orta Nokta Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması

Betonarme kirişlerin rijitlik-orta nokta deplasman grafiklerinin daha iyi karşılaştırılması amacıyla aynı tip deney numuneleri (Şekil 4.7) ve tüm deney numuneleri (Şekil 4.8) için grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca deney numunelerine ait ortalama değerler Tablo 4.3’de verilmiştir.





Şekil 4.8. Tüm numunelerin rijitlik-orta nokta deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

Tablo 4.3. Deney numunelerinin ortalama rijitlik değerleri

Numune Adı	İlk Rijitlik (kN/mm)	Maksimum Yükte Rijitlik (kN/mm)
KR (No.1-2)	537.52	4.91
30 kg/m ³ %100 KMX 80/60 (No.3-4)	603.30	3.60
30 kg/m ³ %50 KMX 80/60-%50 KMX 65/60 (No.5-6)	1652.02	3.62
30 kg/m ³ %100 KMX 65/60 (No.7-8)	924.29	4.08
60 kg/m ³ %100 KMX 80/60 (No.9-10)	963.75	5.59
60 kg/m ³ %50 KMX 80/60-%50 KMX 65/60 (No.11-12)	538.67	7.22
60 kg/m ³ %100 KMX 65/60 (No.13-14)	127.57	3.22

Tablo 4.3’de ki veriler değerlendirildiğinde, çelik liflerin çatlak gelişimine olan katkısı sebebiyle ilk rijitlik değerleri referans kirişe göre artış göstermiştir. Özellikle 60 kg/m³ lif dozajında narinliği farklı çelik liflerin birlikte kullanılmasıyla çatlak gelişimi azalan betonarme kirişlerin maksimum yükte rijitlik değerleri oldukça yüksektir. Maksimum yükte referans kirişe göre 30 kg/m³ lif dozajına sahip kirişlerden No.3-4 ve No.5-6 numunelerinde yaklaşık %26, No.7-8 numunesinde ise yaklaşık %17 azalma

gözlemlenmiştir. 60 kg/m^3 lif dozajına sahip kirişlerden No.9-10 ve No.11-12 numunelerinde sırasıyla yaklaşık %14 ve %47 artış, No.13-14 numunesinde ise yaklaşık %34 azalma olmuştur. Betonarme kirişte çatlak gelişimini engellemeye yönelik olarak çelik lif katkısı tek tip veya hibrit olarak kullanımda etkili olmuştur.



5.BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında gerçek davranışı görmek adına 1/1 ölçekle ve hibrit çelik lif katılarak üretilen betonarme kirişlerin basit mesnette eğilme davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda deney numunelerinin davranışlarına ait değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

Kirişlerin taşıma gücü değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, tüm numunelerin yaklaşık olarak 200 kN taşıma gücü kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. En az taşıma gücü 188.7 kN ile referans kirişe aittir. Taşıma gücü referans kirişlere göre, No.3-4 numunelerinde %7 daha fazla, No.5-6 numunelerinde %3 daha fazla, No.7-8 numunelerinde yaklaşık %8 daha fazla, No.9-10 numunelerinde %11 daha fazla, No.11-12 numunelerinde %3 daha fazla, No.13-14 numunelerinde yaklaşık %9 daha fazla çıkmıştır. Kendi aralarında çelik lif katkısı taşıma gücünü çok arttırmamıştır.

Betonarme kirişlerin süneklilik değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek süneklilik değerine sahip kiriş referans (lifsiz) numune olmuştur. 30 kg/m³ çelik lif dozajına sahip No.3-4, No.5-6 ve No.7-8 kodlu numunelerinde referans kirişe göre sırasıyla yaklaşık %18, %27 ve %46 oranında azalma olmuştur. 60 kg/m³ çelik lif dozajına sahip No.9-10, No.11-12 ve No.13-14 kodlu numunelerde ise referans kirişe göre sırasıyla yaklaşık %31, %55 ve %31 oranlarında azalmalar olmuştur. Çelik lif katkısı süneklilik değerinde azalmaya sebep olmuştur.

Betonarme kirişlerin ortalama enerji tüketimleri karşılaştırıldığında, referans kirişlerin (KR-2 numunesi dahil değil) çelik lifli kirişlere göre enerji tüketim değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca 30 kg/m³ ve 60 kg/m³ lif dozajına sahip kirişler incelendiğinde ise 30 kg/m³ lif dozajına sahip kirişlerin enerji tüketimi daha yüksek olmuştur.

Betonarme kirişlerin rijitlik değerleri karşılaştırıldığında, çelik lifin çatlak gelişimine olan katkısı sebebiyle ilk rijitlik değerleri, çelik lifli kirişlerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Maksimum yükte rijitlik değerlerine bakıldığında ise referans kirişe göre, 30 kg/m³ lif dozajına sahip kirişlerin rijitlik değerlerinde genel bir azalma, 60 kg/m³ lif dozajına sahip kirişlerden No.9-10 ve No.11-12 numunelerinde artış, No.13-14 numunesinde ise azalma görülmektedir. Maksimum yükte en yüksek rijitlik değeri 7.22 ile No.11-12 kirişinde görülmüştür. Betonarme kirişlerin kırılma anında çatlak dağılımları incelendiğinde, genel olarak tüm betonarme kirişlerde çatlak dağılımı açıklık ortasında eğilme çatlakları şeklinde olmuştur. Yük-mesnet arasında ise hiçbir numunede eğilmeli kesme hasarı görülmemiştir. Betonarme kirişte çatlak gelişimini engellemeye yönelik olarak çelik lif katkısı tek tip veya hibrit olarak kullanımda etkili olmuştur.

5.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir.

- Etriye aralıkları değiştirilerek deneyler yapılabilir.
- Çekme donatı oranları arttırılarak deneyler yapılabilir.
- Aynı mesnet şartlarında lif tipleri ve dozajları değiştirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A., Arı, K., 2006. Çelik lif katkı ve katkısız betonarme kirişlerin basit eğilme ve patlama yüklemesi ile davranışlarının incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (1): 112-120.
2. Altun, F., Aktaş, B., 2011. Çelik tel katkı hafif betonun eğilme tokluğunun incelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14 (2): 27-33
3. Altun, F., Özcan, D.M., Vekli, M. ve Haktanır, T., 2002. Çelik lif katkı betonarme kirişlerin taşıma gücünün deneysel incelenmesi, s 205-212. ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 14 Ekim 2002, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye
4. Birincioğlu, M.İ., 2016, Çelik Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 49s.
5. Aktaş, B., 2007. Çelik lifli hafif beton ile imal edilmiş betonarme kirişlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 61 s.
6. Ulusoy, S., 2015, Etriyesiz Çelik Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 51s.
7. Güler, S., Yavuz, D. 2017. Düşük Hacimsel Oranlarda Lif Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. THBB 2017 Beton Kongresi Bildirileri, 34-2017-98, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van, 9s.
8. Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., Hasgöl, U., 2016. Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İçeren Kirişlerde Etkin Çelik Lif Tipi İncelemesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 037201 (sayfa 776-785).
9. Ulu, A. A., 2011, Shear Behavior of Hybrid Fiber Reinforced Concrete (HFRC) Beams Without Web Reinforcement. Boğaziçi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 64 s.

10. Arpacıktaş, M., 2020, Hibrit Çelik Lif Katkılı Betonarme Kiriş Davranışının Deneysel İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 107s.
11. Engin, S., 2005, Çelik Lif İle Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Burulma Davranışı. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 136s.
12. Chunxiang, Q., Patnaikuni, I., 1999. Properties of High-Strength Steel Fiber Reinforced Concrete Beams in Bending. *Cement Concrete Comp*, 21(1), 73-81.
13. Yavuz, D., Güler, S., Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F., 2016. Çelik Lif Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. **Engineering Sciences Dergisi 2016. Cilt:11**, Sayı:4 Sayfa: 93-99.
14. Özcan, D.M., 2003. Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 62s.
15. Mayar, B. A., 2020. Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Üretilen Kirişlerin Eğilme ve Kesme Davranışlarının İncelenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 123 s.
16. Alparslan, U., 2015. Çelik Lif Uç Geometrisinin Beton Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,139 s.
17. Çotur, E., 2019. Lif Katkılı Yüksek Mukavemetli Beton ile Üretilmiş Elemanların Eğilme Davranışları. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 95 s.
18. Berbergil, V., 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 63 s.
19. Faeq, M.N.F., 2015. Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Having Various Layers of Conventional and Steel Fiber Reinforced Concrete. Atılım Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 73s.
20. Şen, M., 2009. Shear behavior of FRC beams without web reinforcement using steel fibres with different aspect ratios. Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 94 s.

21. Birincioğlu, M.İ., 2016. Çelik Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 60 s.
22. Al-Ameri, R.A.N., 2017. Investigation of Flexural Behavior of the Steel Fiber Reinforced Concrete Hollow Section Beams. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep, 98 s.
23. Amin, A., Foster, S. J., 2016. "Shear Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete Beams with Stirrups", Engineering Structures, 111:323-332.
24. <https://www.kemerix.com.tr/urun-detay/kmx-8060-bg-5.html> (Erişim Tarihi: Eylül 2020)
25. <https://www.kemerix.com.tr/urun-detay/kmx-6560-bg-1.html> (Erişim Tarihi: Eylül 2020)
26. TS EN 14889-1, Lifler-Betonda kullanım için-Bölüm 1: Çelik lifler-Tarifler, özellikler ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Aralık 2006, Ankara.
27. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, Ocak 2019, Ankara
28. TS500-2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, Ankara.
29. TS 708, Çelik- Betonarme için-Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2016, Ankara.
30. Doğangün, A., 2014. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 714s.
31. Ersoy, U., Özcebe, G., 2018. Betonarme Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Evrim Yayınevi, İstanbul, 816s.
32. Celep, Z., 2019. Betonarme Yapılar, Beta Yayınevi, İstanbul, 829s.
33. TS 10514, Lif Takviyeli Betonun Karışım Oranları Ve İmalatı için Kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, Ekim 2015, Ankara.
34. TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2003, Ankara.
35. TS EN 12390-6, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2002, Ankara.

36. TS EN 14651 + A1 Metal lifli beton - Deney yöntemi - Eğilmede çekme dayanımının tayini (Kalıcı orantısal sınır (LOP)) , Türk Standartları Enstitüsü, Mayıs 2008, Ankara
37. Ünal, A., 2016. Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitesinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya. 386s.
38. Demiral, T., 2018. Betonarme Kiriş Boşluklarının Davranışa Etkisinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri. 108s.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Samet ERCİNS
Uyruğu : Türkiye (TC)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2021
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2017
Lise	Kongre Anadolu Lisesi, Sivas	2013

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Kurum	Görev
2020-Halen	Caba İnşaat Enerji Tur. San. ve Tic. A.Ş.	İnşaat Mühendisi
2017-2019	Demirkol Yapı	İnşaat Mühendisi
2017-2017	Asel Yapı Denetim Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce